

José Arnaldo Favaretto

Biologia

Unidade e Diversidade

3



ENSINO MÉDIO
COMPONENTE CURRICULAR
BIOLOGIA

FTD

Biologia

Unidade e Diversidade

3

ENSINO MÉDIO
COMPONENTE CURRICULAR
BIOLOGIA

José Arnaldo Favaretto

Médico graduado pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.
Professor de Biologia no ensino médio no estado de São Paulo.

1ª edição
São Paulo – 2016

FTD

**MANUAL DO
PROFESSOR**

Diretor editorial	Lauri Cericato
Gerente editorial	Flavia Renata P. A. Fugita
Editora	Valquiria Baddini Tronolone
Editores assistentes	Débora de Almeida Francisco Nichel, Eveline Duarte, João Paulo Bortoluci, Juliana Bardi, Vitor Hugo Rodrigues
Assistentes editoriais	Laura de Paula, Angelica da Silva Sousa
Assessoria	Hellen Fumagalli, Anita Adas
Gerente de produção editorial	Mariana Milani
Coordenador de produção editorial	Marcelo Henrique Ferreira Fontes
Coordenadora de arte	Daniela Máximo
Projeto gráfico	Casa Paulistana
Projeto de capa	Bruno Attili
Foto de capa	Thais Falcão/Olho do Falcão
	<i>Modelos da capa:</i> Andrei Lopes, Angélica Souza, Beatriz Raielle, Bruna Soares, Bruno Guedes, Caio Freitas, Denis Wiltemburg, Eloá Souza, Jardo Gomes, Karina Farias, Karoline Vicente, Letícia Silva, Lilith Moreira, Maria Eduarda Ferreira, Rafael Souza, Tarik Abdo, Thaís Souza
Supervisora de arte	Isabel Cristina Corandin Marques
Diagramação	Adriana M. Nery de Souza, Eduardo Benetorio, Gabriel Basaglia, Lucas Trevelin, Sara Slovak Savero
Tratamento de imagens	Ana Isabela Pithan Maraschin, Eziquiel Racheti
Coordenadora de ilustrações e cartografia	Marcia Berne
Ilustrações	Alex Argozino, Alex Silva, Bourdiel, dp elias, Eduardo Borges, Ligia Duque, Manzi, Luis Moura, Luiz Rubio, Rafael Herrera, Renan Leema, Studio Caparroz, Tarumã.
Cartografia	Allmaps, Dacostamapas, Renato Bassani
Coordenadora de preparação e revisão	Lilian Semenichin
Supervisora de preparação e revisão	Izabel Cristina Rodrigues
Revisão	Ana Lúcia Horn, Carolina Manley, Desirée Araújo, Edna Viana, Jussara R. Gomes, Lilian Vismari, Kátia Cardoso
Coordenador de iconografia e licenciamento de textos	Expedito Arantes
Supervisora de licenciamento de textos	Elaine Bueno
Iconografia	Marcia Trindade
Diretor de operações e produção gráfica	Reginaldo Soares Damasceno

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Favaretto, José Arnaldo
 Biologia unidade e diversidade, 3º ano / José Arnaldo
 Favaretto. — 1. ed. — São Paulo : FTD, 2016. —
 (Coleção biologia unidade e diversidade)

Componente curricular: Biologia.
 ISBN 978-85-96-00346-9 (aluno)
 ISBN 978-85-96-00347-6 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) I. Título. II. Série.

16-03558

CDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07

Apresentação

Nós, seres humanos, compartilhamos um pequeno planeta azul com milhões de outras espécies de seres vivos, das mais diversas formas e tamanhos: alguns imensos, como as castanheiras-do-pará e as baleias-francas; outros minúsculos, como as cianobactérias, encontradas em diversos lugares, como nas camadas superficiais dos oceanos.

Na biosfera — nome que designa o conjunto de todas as regiões da Terra onde há vida — estima-se que existam mais de 30 milhões de espécies de organismos, unidos por um importante vínculo: a ancestralidade comum. Além dos ancestrais remotos, as espécies de seres vivos atuais compartilham outros aspectos, como a organização celular e algumas características químicas, a capacidade de perceber estímulos ambientais e reagir a eles, a possibilidade de gerar descendentes para os quais transmitem características hereditárias e o fato de se modificarem com o tempo, ou seja, de evoluírem. A descendência com modificação deixa marcas que distinguem entre si as espécies e que fazem tão rica a biodiversidade do planeta.

Antes de começarmos nossa caminhada pela Biologia, sugerimos que você leia uma das mais belas descrições da Terra e de sua capacidade de conter a vida. Essa descrição¹ não foi escrita por um biólogo, mas pelo astronauta norte-americano Eugene Cernan, o último ser humano a caminhar na superfície lunar, onde chegou em dezembro de 1972, como tripulante da nave espacial Apollo 17:

Quando se está na órbita da Terra, ao olhar para baixo, veem-se lagos, rios, penínsulas. Voa-se rapidamente sobre mudanças de topografia, como montanhas cobertas de neve, desertos e cinturões tropicais — tudo muito visível. Passa-se por um nascer e um pôr do sol a cada 90 minutos. Ao sair da órbita terrestre, enxerga-se a Terra de um polo ao outro e de um oceano a outro sem sequer virar a cabeça. Vê-se a América do Norte e a América do Sul “dobrando a esquina”, enquanto a Terra gira em torno de um eixo invisível; então, vê-se a Oceania, depois a Ásia, a Europa e a África e, a seguir, as Américas vêm substituí-las. Começa-se a perceber como é pequena a nossa compreensão do tempo. Perguntamos a nós mesmos: onde estamos, no espaço e no tempo? Olhamos “para casa” e não vemos as barreiras de cor, religião e política que dividem este mundo.

**Esse é o lugar da vida.
Boa viagem!**

¹ CERNAN, E. apud MARGULIS, L.; SAGAN, D. *O que é vida?* Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

Conheça o seu livro

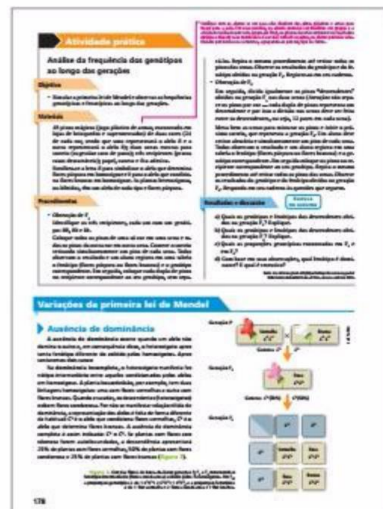
Unidades e Capítulos

Nosso livro organiza-se em quatro Unidades, cada uma com quatro Capítulos que se iniciam com texto e foto de abertura, destacados em página dupla, cujo papel é estimular a reflexão a respeito dos assuntos abordados.



Boxes

Ao longo do texto, são encontrados pequenos boxes, que apresentam definições ou informações complementares.



Atividade prática

As atividades práticas encontradas no livro procuram estimular a observação e a elaboração de hipóteses. Este ícone indica que na execução de algumas atividades práticas há necessidade de cuidado no manuseio dos materiais.

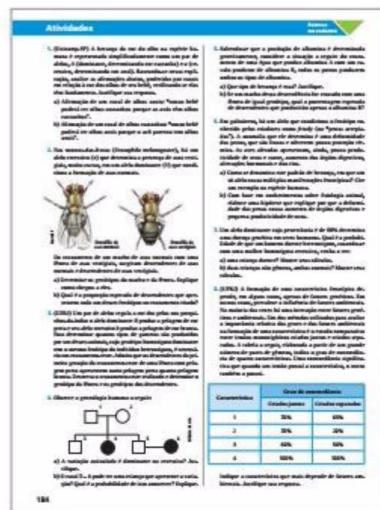


A notícia

Nessa seção, encontram-se recortes de jornais ou revistas que apresentam temas associados ao conteúdo do capítulo, acompanhados de propostas de atividades.

Atividades

Após o desenvolvimento do conteúdo teórico de cada capítulo, encontra-se um bloco de atividades, contendo questões analítico-discursivas que estimulam a reflexão sobre os conteúdos apresentados.



Sumário

UNIDADE I

Capítulo 1

Enrico Marone/Pulsar



Seres vivos

Ambiente, matéria e energia 10

Ecosistemas, um complexo equilíbrio 12

Caminhos da energia e da matéria 13

Adaptação e tolerância 14

Adaptação e evolução 14

Energia nos ecossistemas 15

Distribuição da energia 16

Níveis tróficos 17

Cadeias e teias alimentares 17

A notícia 18

Cascata trófica 19

Magnificação trófica 19

Pirâmides ecológicas 20

Pirâmide de números 20

Pirâmide de biomassa 20

Pirâmide de energia 21

Produtividade 21

PPL e agricultura 23

Atividade prática 24

Atividades 25

Conexões – Reservas indígenas em debate 26

Capítulo 2

Ronaldo Nima/Tyba



Comunidades

Interações e adaptações 28

Uma rede de interações 30

Relações harmônicas 30

A notícia 31

Relações desarmônicas 33

Disfarces, imitações e outros artifícios 35

Camuflagem 35

Mimetismo 35

Outras estratégias de defesa 36

Sucessão ecológica 36

Atividades 38

Conexões – Consumo colaborativo: a revolução silenciosa 39

Capítulo 3

Rogério Paçulaf/Futura Press



Populações

A dinâmica da espécie 40

Dinâmica populacional 42

Crescimento populacional 43

Dispersão populacional 45

Taxa de sobrevivência por faixa etária 45

População humana 46

Pirâmides de distribuição etária 46

Dinâmica da população brasileira 47

A notícia 49

Indicadores de saúde 49

Atividades 50

Conexões – Dinâmica populacional e consequências ambientais 52

Capítulo 4

Apriphoto/Shutterstock.com



Biodiversidade

Uma tapeçaria de formas de vida 54

Planeta da vida 56

Fatores abióticos 56

Biodiversidade 58

Espécies ameaçadas no Brasil 60

A notícia 61

Reserva legal e áreas de preservação permanente 62

Biodiversidade e preservação: o papel de todos 64

O que você pode fazer? 64

Atividades 65

Conexões – Cultivo do eucalipto no Brasil 66

Atividades complementares 68

Texto & Contexto 72

UNIDADE II

Capítulo 5

Fabio Colombini



Biosfera e ação humana

Grandes paisagens naturais 76

Ecosistemas e biomas 78

Tundras	80
Taigas	80
Florestas Temperadas	80
Florestas Ombrófilas	80
Formações Herbáceas	80
Desertos	80
Retratos do Brasil	81
Floresta Amazônica	82
Cerrados	83
A notícia	84
Caatinga	84
Mata Atlântica	85
Pantanal Mato-Grossense	86
Pampas	86
Atividades	87
Conexões – Mascotes da preservação ambiental	88

Capítulo 6

Dário Oliveira/Folhapress



Biosfera e ação humana

Atmosfera

O ar sobre as cidades

Poluição atmosférica	92
A notícia	95
Clorofluorcarbonos e camada de ozônio	96
Chuva ácida, a poluição sem fronteiras	97
Aquecimento global: evidências e incertezas	98
Calor da Terra	98
Carbono	99
Teoria do efeito estufa	100
Gases de efeito estufa	101
Atividades	104
Conexões – Como atender as necessidades energéticas do país de forma sustentável?	105

Capítulo 7

Image Gallery/Nasa Images



Biosfera e ação humana

Hidrosfera

Terra, o mundo das águas

Caminhos da água	111
A vida nas águas	113
Ecosistemas de água doce	113
Estuários e manguezais	114
Ecosistemas marinhos	114
Usos da água: reflexos de civilização e desperdício	116

Produção de alimentos e consumo de água	118
Agentes de desequilíbrio	118
Fertilizantes inorgânicos e produtos sintéticos	118
Sedimentos	119
Impactos ambientais dos garimpos	119
Poluição térmica	120
Eutrofização	120
Águas e doenças	121
Tratamento da água e do esgoto	122
Destinação do esgoto	122
Reaproveitando sedimentos	124
Alternativas para os resíduos orgânicos	124
A notícia	125
Atividades	126
Conexões – Água, poder e política	128

Capítulo 8

Rubens Chaves/Pulpar



Biosfera e ação humana

Solo e resíduos sólidos

O perfil do solo

Ciclo do nitrogênio	133
Práticas agrícolas	135
Rotação de culturas, adubação verde e fertilização orgânica	135
Cultivo mínimo e plantio direto	135
Fertilizantes inorgânicos	136
Proteção mecânica contra a erosão	136
Coivara: agricultura à moda indígena	137
Pragas agrícolas: estratégias de combate	137
Alternativas de combate	137
Biotechnologia: uma nova fronteira da agricultura	138
Vantagens dos organismos geneticamente modificados (OGMs)	138
OGMs na agricultura	139
Quais são os inconvenientes dos OGMs?	139
Resíduos sólidos e civilização	141
Coleta e destinação de resíduos sólidos	142
Como morar sem poluir	145
A opção pela energia nuclear	146
Contaminações com material radioativo	147
A notícia	147
Atividades	148
Conexões – Como tornar a agricultura brasileira sustentável?	149

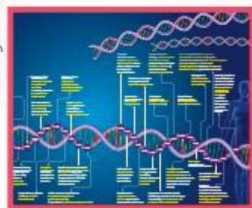
Atividades complementares

Texto & Contexto

UNIDADE III

Capítulo 9

Alex Argosino



Bases da hereditariedade

Como atuam os genes

A genética no cotidiano	162
Termos essenciais	162
A notícia	163
O fenômeno da dominância	164
Atividade prática	165
Herança citoplasmática	165
Doenças congênitas e distúrbios hereditários	166
Terapia gênica e doenças humanas	167
Atividades	168
Conexões – Para onde vamos?	169

Capítulo 10

T. Fernandes/Fotorena



Bases da hereditariedade

Herança de um par de alelos

Os trabalhos de Mendel	172
Lei da segregação dos fatores	172
A notícia	173
Atualizando os trabalhos de Mendel	174
Cruzamento-teste	175
Mapas familiares	175
Atividade prática	178
Variações da primeira lei de Mendel	178
Ausência de dominância	178
Alelos letais	179
Pleiotropia	180
Penetrância e expressividade	181
Estudo dos gêmeos	182
Taxa de concordância	183
Atividades	184
Conexões – Instabilidade dos paradigmas: da vida social à Biologia moderna	185

Capítulo 11

wavebreakmedia/Shutterstock.com



Mendel e variações

Alelos múltiplos e grupos sanguíneos

Alelos múltiplos	188
Sangue: sistema ABO	189
Transfusões	189
Herança do sistema ABO	190
Sangue: sistema Rh	190
Transfusões	191
Tipagem sanguínea	191
Herança do sistema Rh	192
Doença hemolítica do recém-nascido (DHRN)	192
Sangue: sistema MN	193
DNA, detetive moderno	193
A notícia	194
Atividades	195
Conexões – Transfusões de sangue	196

Capítulo 12

Will Counts/Bettmann/CORBIS/latinstock



Mendel e variações

Herança de dois ou mais pares de alelos

O princípio da segregação independente	200
A segregação independente e o cálculo de tipos de gameta	201
Interações gênicas	202
Interação gênica simples	202
Epistasia	203
Herança quantitativa (ou poligênica)	204
A notícia	206
Atividade prática	208
Atividades	208
Conexões – Biologia e racismo: uma relação delicada	210

Atividades complementares

Texto & Contexto

UNIDADE IV

Capítulo 13

Burger/Phanie/Diomedea



Mendel e variações

Do mapeamento cromossômico à genômica

Ligação gênica	218
Mapa cromossômico	221
Uma nova ciência: a genômica	222
Genômica no Brasil	225
A notícia	226
Atividades	227
Conexões – Um conceito em crise	228

Capítulo 14

Universal History Archive/
UIG/Getty Images



Mendel e variações

Sexo e herança

Sexo e cromossomo

Sistema XY	234
Sistema XO	238
Sistema ZW	238
Determinação sexual em abelhas	239
Sexo e herança	239
Herança ligada ao sexo	239
Herança restrita ao sexo	241
Herança influenciada pelo sexo	241
Herança limitada ao sexo	242
A notícia	242
Atividades	243
Conexões – Diferenças além do óbvio	244

Capítulo 15

Nick Paleologos/SOOC/AFP



Variabilidade e adaptação

Bases genéticas da evolução

Diversidade e evolução	248
Variabilidade genética	248
Como surge a variabilidade genética	249

Mutações	249
Mutações gênicas	249
Alterações cromossômicas	250
Agentes mutagênicos	251

A notícia	252
-----------	-----

Genética de populações	252
Consequências do princípio de Hardy-Weinberg	253

Atividade prática	254
Fatores que alteram as frequências dos alelos	256
A doença falciforme: estudo de caso	257

Atividades	259
------------	-----

Conexões – Consanguinidade, diversidade e preservação	260
---	-----

Capítulo 16

NSP-RF/Alamy/Glow Images



Evolução

Ideias e evidências

Ideias e controvérsias

Lamarck: a evolução é um impulso interior	264
Darwin: a seleção natural direciona a evolução	264
A nova síntese	266

Atividade prática	266
-------------------	-----

O que é a evolução?	267
---------------------	-----

A notícia	269
-----------	-----

Exemplos de microevolução	270
Insetos e inseticidas	270
Bactérias e antibióticos	270
Melanismo industrial	270

Um mundo de evidências	271
Meia-vida e contagem do tempo	273

A evolução sob a luz da genômica	274
----------------------------------	-----

Atividades	275
------------	-----

Conexões – Visões de mundo e de cores	276
---------------------------------------	-----

Atividades complementares	278
---------------------------	-----

Texto & Contexto	281
------------------	-----

Além dos limites destas páginas	284
---------------------------------	-----

Listas de siglas	287
------------------	-----

Referências bibliográficas	288
----------------------------	-----

Seres vivos

Ambiente, matéria e energia

Enrico Marone/Pulsar

Atobá-grande (*Sula dactylatra*,
85 cm de comprimento).

Laboratórios naturais de experiências malsucedidas

Espécies exóticas são aquelas introduzidas em um ecossistema onde antes não ocorriam. Se não encontram competidores, parasitas ou predadores, passam a proliferar com facilidade, e o crescimento rápido de suas populações pode afetar o equilíbrio do ambiente que as acolheu. O aguapé (*Eichhornia crassipes*) exemplifica um caso assim. Endêmica da América do Sul, essa planta aquática proliferou tão rapidamente na América do Norte que passou a comprometer a navegação e a captação de água para consumo humano em algumas regiões dos Estados Unidos.

Até 1859, não havia coelhos na Austrália, onde esses animais foram introduzidos por um fazendeiro “para embelezar a fazenda”, como ele mesmo declarou. No ecossistema australiano, a população de coelhos cresceu de modo exponencial, principalmente porque encontrou poucos predadores – vários deles ameaçados pela ação humana ou já extintos, como o lobo-da-tasmânia, eliminado por atacar os rebanhos de ovelhas. Alguns anos depois, numa tentativa de controlar a população de coelhos, o mesmo fazendeiro matou mais de 20 mil deles apenas na própria fazenda, embora calculasse que mais de 10 mil ainda permanecessem. Os coelhos continuaram se multiplicando e passaram a ocupar pastagens e ecossistemas selvagens. Em 1950, foram deliberadamente introduzidos na Austrália coelhos contaminados com o vírus causador da mixomatose, doença letal para esses animais. No entanto, coelhos resistentes ao vírus começaram a predominar e a reproduzir-se, originando descendentes também resistentes à mixomatose. Atualmente, a população de coelhos da Austrália aparentemente se encontra estabilizada.

Por aqui, tivemos insucesso semelhante. O arquipélago de Fernando de Noronha, distrito do estado de Pernambuco, contém uma ilha principal e várias ilhas secundárias, que totalizam menos de 20 km², e situa-se a 350 km da costa do Rio Grande do Norte. Atualmente um importante polo turístico, o arquipélago foi descoberto em 1503 e, durante muito tempo, representou um estratégico ponto de descanso dos marujos e de reabastecimento e reparo de embarcações.

A partir do século XVIII, passou a abrigar um presídio, de onde muitas tentativas de fuga ocorriam. Os prisioneiros construíam jangadas com a madeira obtida do corte de árvores. Por isso, uma das providências para

impedir as fugas do arquipélago foi derrubar a maioria das árvores, principalmente as mais altas: a mais abundante era o mulungu (*Erythrina velutina*), que ultrapassa 5 m de altura. A vegetação arbustiva também foi devastada na tentativa de eliminar possíveis esconderijos de fugitivos. Com essas e outras providências, restam hoje menos de 5% de vegetação nativa.

O arquipélago foi invadido por ratos e camundongos, levados pelos navios que lá aportavam. Na década de 1950, um governante levou, da caatinga nordestina, exemplares do lagarto teiú (*Tupinambis merianae*), com o objetivo de que comessem os ratos. Embora aparentemente bem idealizado, o plano não deu certo: como o teiú tem hábitos diurnos e os ratos, hábitos noturnos, os dois pouco se encontravam. Os teiús passaram a pregar não os ratos, mas os mabuias (*Trachylepis maculata*¹), lagartos que existiam no arquipélago.

Em Fernando de Noronha, há três espécies de atobás, aves marinhas que se alimentam de sardinhas: o atobá-grande (*Sula dactylatra*), o atobá-pardo (*Sula leucogaster*) e o atobá-de-pés-vermelhos (*Sula sula*). Todas habitavam tanto a ilha principal como as ilhas secundárias do arquipélago; porém, a chegada dos teiús mudou o cenário, pois eles passaram a aproveitar uma abundante fonte de alimento: ovos e filhotes de atobás. Os atobás-grandes foram os mais afetados, pois botam ovos somente no chão, e seus ninhos eram facilmente encontrados pelos lagartos. Os atobás-pardos, que botam ovos no chão e em árvores, foram menos atingidos. Os atobás-de-pés-vermelhos, que botam ovos somente em árvores, não foram afetados e hoje predominam. Atualmente, o atobá-grande não é mais encontrado na ilha principal do arquipélago.

Outra experiência malsucedida foi a introdução, em Fernando de Noronha, do mocó (*Kerodon rupestris*), roedor levado do interior do Piauí, em 1967, para servir de caça. Sem predadores ou competidores, sua população aumentou, e os mocós, de caça, transformaram-se em um problema. Os roedores atacam as raízes das árvores, que acabam morrendo. Menos protegidas pela vegetação, as encostas litorâneas do arquipélago têm sofrido mais intensamente os efeitos da erosão.

Esses casos mostram como, mesmo bem-intencionada, a interferência humana nos ecossistemas pode ser desastrosa.

¹ Antes denominado *Mabuya maculata*.

Ecossistemas, um complexo equilíbrio

Não vivo por mim mesmo. Sou só um elo do que me cerca¹.

Lorde Byron (1788-1824), poeta britânico.

A ocorrência da vida resulta da interação entre fatores abióticos e fatores bióticos e das relações que se estabelecem entre os seres vivos.

Os **fatores abióticos** (ou biótopo, conjunto dos componentes físicos e químicos, tais como luz, água, composição química do solo, gases e temperatura) e os **fatores bióticos** (ou biocenose, representada pelos seres vivos), em **constante interação**, influenciando-se reciprocamente, constituem os **ecossistemas**, que são autossuficientes em alimentos, mas não em energia, cuja fonte primária é o Sol. Os ecossistemas encontram-se em estado de equilíbrio dinâmico, conhecido como **homeostase**.

Em determinado ecossistema, a **comunidade** é o conjunto das populações que interagem umas com as outras, incluindo plantas, animais e demais seres vivos.

Nos fragmentos remanescentes da Mata Atlântica, por exemplo, encontra-se uma exuberante comunidade que contém populações de diversas espécies, tais como árvores de grande porte, epífitas, samambaias, musgos, mamíferos, grande diversidade de aves (como os tucanos) e anfíbios, insetos e aranhas, além de muitas populações de microrganismos (bactérias, protozoários, fungos e algas, importantes na manutenção do equilíbrio do ecossistema). Embora tenha características peculiares, a Mata Atlântica guarda semelhanças com outros ecossistemas, por exemplo, com áreas de florestas da costa norte da Austrália, da bacia do rio Congo (na África), das Filipinas e algumas outras.

Em todas as regiões do Brasil, inclusive em áreas de Mata Atlântica (principalmente entre os estados do Rio de Janeiro e de Santa Catarina), encontram-se exemplares de tucano-toco (ou tucanuçu), que se destaca pelo imenso bico amarelo e tem características que o diferenciam de outros seres vivos, mesmo de outras variedades de tucano (**figura 1**).

Oleksiy Mark/Shutterstock.com



André Seale/Fubar

Figura 1. (a) O tucano-toco (*Ramphastos toco*, 56 cm de comprimento) e (b) o tucano-de-bico-verde (*Ramphastos dicolorus*, 48 cm de comprimento) são encontrados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Embora guardem semelhanças, o tucano-toco e o tucano-de-bico-verde não se inter cruzam na natureza e não originam descendentes férteis; portanto, pertencem a espécies diferentes.

Revisto e ampliado, o conceito de espécie inclui o conjunto de seres vivos que, reproduzindo-se sexualmente, compartilham informações genéticas e mantêm um patrimônio genético comum.

Existe tucano-toco em diversos ambientes, mas os que habitam a Mata Atlântica constituem uma **população**, definida como um conjunto de seres vivos da mesma espécie, que habitam o mesmo espaço, no mesmo intervalo de tempo. **Espécie**, por sua vez, é um conjunto de seres vivos semelhantes que podem se cruzar na natureza, originando descendentes férteis.

Cada espécie desenvolve-se em um **habitat**, que é o lugar que ocupa na natureza.

O habitat de cada espécie determina condições de sobrevivência e reprodução. Cada espécie está adaptada a seu habitat, com características que lhe permitem resolver problemas impostos pelo ambiente, como obtenção de alimento, proteção contra predadores e busca por parceiros sexuais.

O modo peculiar de vida de cada espécie corresponde ao **nicho ecológico**, ou seja, o conjunto de atividades dessa espécie no ecossistema em que habita, com suas interações com os componentes abióticos e com seres vivos de outras espécies. O nicho ecológico revela relações alimentares (onde e do que os indivíduos da espécie se alimentam e para quais espécies servem de alimento), busca de abrigo e de locais para reprodução.

¹ BYRON, G. G.; KEATS, J. *Entrevistos*. Campinas: Unicamp, 2009.

Nos ecossistemas, as espécies ocupam os nichos ecológicos disponíveis. Nas savanas africanas, por exemplo, capim, búfalos, leões e abutres compartilham o hábitat, mas têm nichos ecológicos diferentes. O capim produz matéria orgânica por fotossíntese e serve de alimento para os búfalos, que são comidos pelos leões. Os restos são aproveitados pelos abutres.

Um exemplo interessante de ocupação de nicho ecológico envolve o pardal. Essa ave vive em muitos lugares do mundo, alimenta-se de sementes e insetos, constrói ninhos em árvores, galpões e telhados, é resistente a parasitas e predadores. Introduzido no Brasil no início do século XX, ocupou eficientemente o nicho ecológico disponível e proliferou muito em várias regiões do país, bem adaptado às condições locais. É senso comum que o pardal teria ocupado o nicho ecológico do tico-tico, ave encontrada em todo o Brasil (exceto na Floresta Amazônica). Trata-se de um equívoco, pois, ao contrário do tico-tico, o pardal tem hábitat urbano; embora tenham dietas parecidas, as duas espécies (**figura 2**) não concorrem por locais de alimentação, além de se reproduzirem em meses diferentes.



Figura 2. (a) O pardal (*Passer domesticus*, 15 cm de comprimento) e (b) o tico-tico (*Zonotrichia capensis*, 15 cm de comprimento) guardam semelhanças anatômicas, mas não disputam os mesmos recursos ambientais. A maior ameaça ao tico-tico é o avanço da urbanização, que reduz seu hábitat.

Caminhos da energia e da matéria

Os organismos não são entidades isoladas. Eles interferem no ambiente (representado por outros seres vivos e componentes físicos e químicos), mas também são afetados pelas condições do ambiente.

Entre os seres vivos de um ecossistema, há um **inter-relacionamento** dinâmico e equilibrado, que mantém um fluxo permanente de energia e de matéria. Em suas atividades, os organismos obtêm **recursos** do ambiente (na forma de luz, matéria orgânica, sais minerais, água, gases e abrigo) enquanto nele eliminam **resíduos**, tais como urina, fezes e gás carbônico.

Os resíduos de um organismo podem ser recursos para outro. O gás carbônico (CO_2), resíduo da respiração celular aeróbia, é recurso (matéria-prima) da fotossíntese; o gás oxigênio (O_2), por sua vez, é resíduo da fotossíntese e recurso para a respiração celular aeróbia. A urina dos animais contém água, sais minerais e compostos nitrogenados (como amônia), que as plantas utilizam. Fezes e cadáveres de organismos, submetidos à decomposição por bactérias e fungos, resultam em CO_2 , água, sais minerais e amônia, que também são aproveitados pelos autótrofos. Um organismo, ou parte dele, pode representar alimento ou abrigo para outro (**figura 3**).



Figura 3. (a) O capim é alimento dos cavalos; (b) o tronco da árvore oferece abrigo à arara.

▶ Adaptação e tolerância

Tartarugas marinhas deixam o mar para a desova, com enorme esforço para sustentar o peso do corpo. No trajeto da água até a praia, expõem-se a diversas ameaças, como a ação de predadores (inclusive os seres humanos), a exposição direta ao Sol, o dessecação e as oscilações da temperatura. Vencer esses desafios e desovar exigem tolerância às variações ambientais.

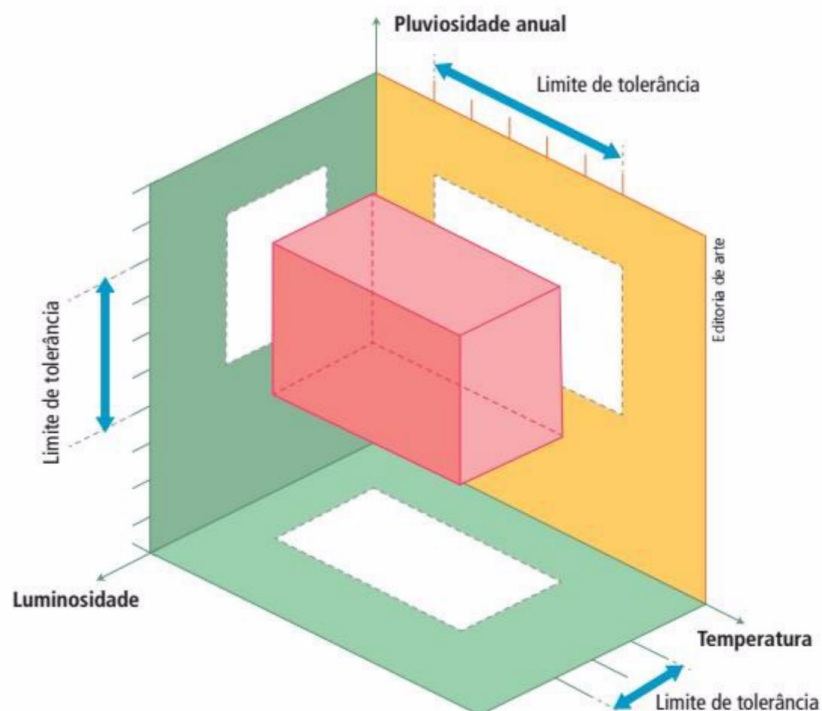
Os seres vivos são influenciados por fatores externos, como luz, alimento, água, espaço, temperatura, radiações e presença de outros organismos. Há um **limite de tolerância**, pois cada organismo está adaptado às condições ambientais dentro de certos limites de variação (**figura 4**).



Figura 4. (a) A raposa-do-ártico (*Vulpes lagopus*, 80 cm de comprimento) está adaptada a baixas temperaturas. (b) Lagartos, como o *Aporosaura anchietae* (12 cm de comprimento), vivem em muitos locais da Terra, mas não são encontrados nas regiões polares, apresentando pequena tolerância ao frio.

Além da temperatura, outros fatores físicos e químicos (como oferta de água, salinidade e pH) têm importância vital para as diversas espécies. A representação da tolerância de uma espécie em relação a três fatores (temperatura, pluviosidade e luz) produz um gráfico em três dimensões (**figura 5**). Entretanto, é impossível representar dessa forma todos os fatores que atuam sobre a espécie, pois a representação seria multidimensional.

Figura 5. Representação gráfica dos limites de tolerância de uma espécie, levando-se em consideração a pluviosidade (quantidade de chuvas), a luminosidade e a temperatura.



O inverso da convergência adaptativa é a **divergência adaptativa** (irradiação adaptativa ou adaptação divergente), que explica, por exemplo, os diferentes tipos de membros encontrados em mamíferos (pernas, asas, nadadeiras e braços), como resultado da adaptação a diferentes pressões da seleção natural.

▶ Adaptação e evolução

Com o corpo quase todo submerso, rãs, crocodilos e hipopótamos podem manter narinas e olhos alinhados com a superfície da água. Essa semelhança sugere que rãs, crocodilos e hipopótamos (**figura 6**) descendem de ancestrais que ocuparam habitats e nichos ecológicos similares. Submetidos a condições ambientais parecidas, características adaptativas semelhantes foram selecionadas. Esse tipo de evolução é denominado **convergência adaptativa** (ou **adaptação convergente**).

Lembre aos alunos que **homologia** é uma semelhança por **ancestralidade comum**. Entre os vertebrados atuais, a presença de um par de olhos é uma homologia, uma vez que o ancestral comum de todos os vertebrados, cujos fósseis datam de mais de 400 milhões de anos, já possuía um par de olhos. Os membros anteriores de mamíferos (como os dos cavalos, dos seres humanos, dos morcegos e das baleias) também são estruturas homólogas, e suas diferentes formas e funções resultam de divergência adaptativa.

A convergência adaptativa explica a existência de **analogias**, semelhanças que não decorrem de ancestralidade comum. Uma analogia pode envolver semelhanças anatômicas, bioquímicas, funcionais ou comportamentais. Aves e mamíferos são animais endotérmicos, mas essa característica não estava presente no ancestral comum desses dois grupos de vertebrados, presumivelmente um animal ectotérmico. Portanto, a endotermia em aves e em mamíferos é uma analogia, e surgiu independentemente na história evolutiva desses dois grupos de animais.



Figura 6. Ancestrais diferentes ocuparam ambientes semelhantes, originando espécies similares quanto a certos aspectos: (a) rã (*Rana esculenta*, 10 cm de comprimento), (b) crocodilo (*Crocodylus porosus*, 6 m de comprimento) e (c) hipopótamo (*Hippopotamus amphibius*, 3,5 m de comprimento).

Espinhos (**figura 7**) são encontrados em limoeiros, cactos, coroas-de-cristo e em muitas outras plantas, de diferentes grupos. Os espinhos do limoeiro (família Rutaceae) são projeções do caule, enquanto os espinhos do xiquexique (família Cactaceae) são folhas modificadas. Os registros fósseis sugerem que o ancestral comum de eudicotiledôneas não possuía espinhos; logo, os espinhos dessas duas plantas são estruturas análogas.



Figura 7. A presença de espinhos (a) no limoeiro e (b) no xiquexique é uma analogia, semelhança que não se deve à ancestralidade comum.

Energia nos ecossistemas

Os seres vivos de uma comunidade mantêm relações alimentares chamadas **relações tróficas**, em que uns servem de alimento a outros.

A fotossíntese é a fonte fundamental de matéria orgânica. Os **autótrofos** mais comuns nas florestas são as árvores; nos campos, predominam as gramíneas; nos ecossistemas aquáticos, as algas são os autótrofos mais abundantes (**figura 8**).

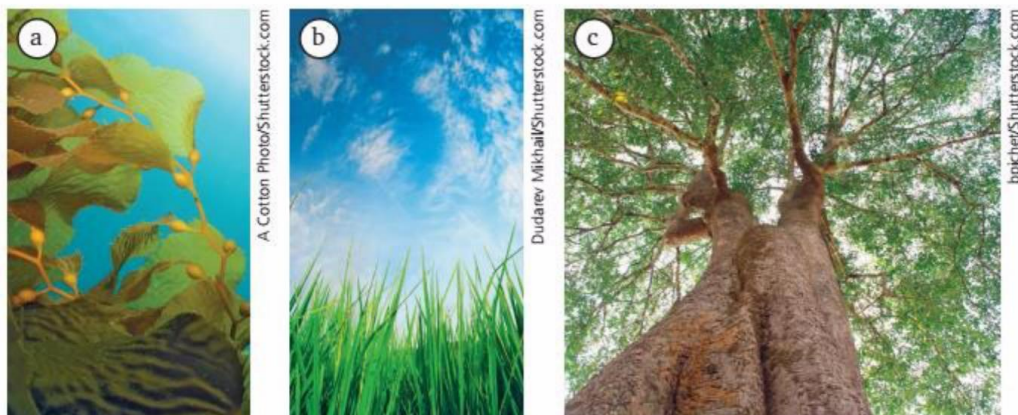


Figura 8. Os principais autótrofos da Terra são (a) as algas (que produzem a maior parte do gás oxigênio da atmosfera terrestre), (b) as gramíneas e (c) as árvores.

Embora seja comum a afirmação de que a Floresta Amazônica é o “pulmão verde do mundo”, sua comunidade consome quase todo o gás oxigênio que produz. Aparentemente, apenas regiões de floresta jovem têm balanço positivo de produção de matéria orgânica, com captação de gás carbônico e liberação de gás oxigênio.

Os **heterótrofos** não são capazes de produzir seu próprio alimento; consequentemente devem obtê-lo pronto, empregando diferentes estratégias: predadores (como a jaguatirica, a águia e a piranha) alimentam-se dos seres vivos que matam; parasitas (como o piolho, a tênia, o carrapato e o cipó-chumbo) obtêm alimento do corpo de outros seres vivos, geralmente sem matá-los; decompositores (como bactérias e fungos) utilizam matéria orgânica morta e resíduos (urina e fezes).

Os heterótrofos mais abundantes são os decompositores, que atuam sobre organismos mortos, restos e resíduos, degradando e convertendo a matéria orgânica em compostos inorgânicos (como sais minerais, gás carbônico e amônia), que podem ser reutilizados pelos autótrofos na produção de matéria orgânica.

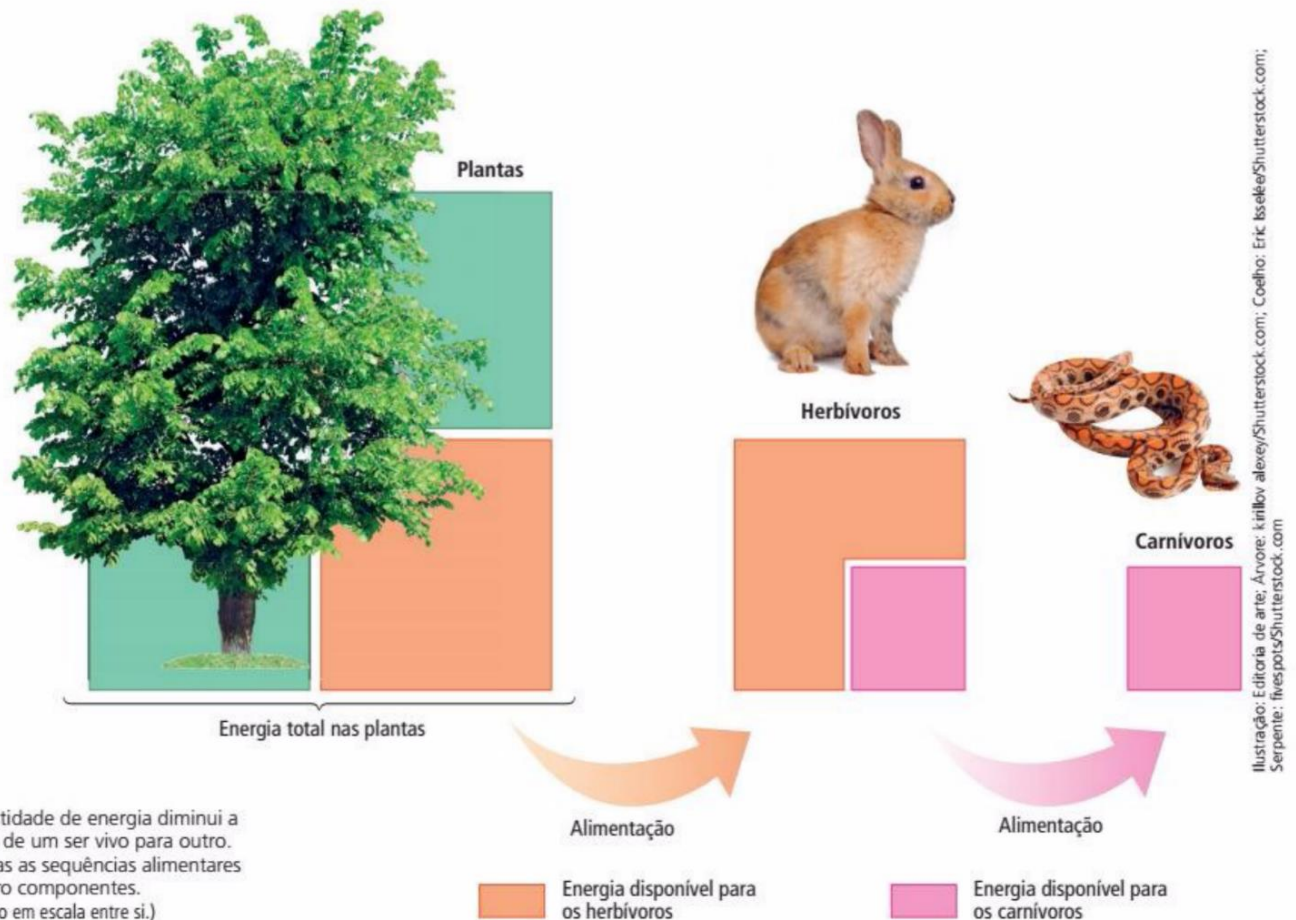
► Distribuição da energia

A fotossíntese transforma a energia luminosa em energia química, que fica armazenada na matéria orgânica produzida. Os autótrofos empregam parte dos compostos orgânicos na construção de seus organismos; outra parte fornece a energia a várias atividades, como a geração de flores e a síntese de proteínas. Há perda significativa de energia na forma de calor, o qual se dissipa para o ambiente e não é reutilizado.

Da matéria orgânica produzida pelos autótrofos, apenas uma parte é armazenada e pode ser aproveitada pelos herbívoros, como gafanhotos e bois. Os alimentos absorvidos pelos herbívoros são degradados na respiração celular aeróbia, liberando calor e energia útil para o trabalho. Outra parte da matéria orgânica é fixada como componentes estruturais ou de reserva e pode ser consumida por outros seres vivos, como predadores e parasitas.

Dessa forma, a quantidade de energia disponível para um animal que se alimenta de um coelho, por exemplo, é menor que aquela que o coelho obteve comendo capim, porque o coelho perde parte da energia na forma de calor, fezes e restos não aproveitados (**figura 9**).

Nos ecossistemas, a energia tem **fluxo unidirecional**, ou seja, não é **reciclada**: inicialmente na forma de luz, converte-se na energia química dos alimentos e perde-se, finalmente, na forma de calor, que não é reutilizado. Entretanto, a matéria é permanentemente reciclada porque, em uma sequência alimentar, as atividades dos seres vivos originam resíduos que podem ser reaproveitados pelos autótrofos.



Níveis tróficos

Dependendo do tipo de alimento utilizado, os organismos de uma comunidade podem ocupar diferentes posições na sequência alimentar. Cada uma dessas posições é um **nível trófico** (ou nível alimentar, **figura 10**).

Os produtores, os consumidores e os decompositores correspondem, portanto, aos níveis tróficos dos ecossistemas. Os consumidores que se alimentam direta e exclusivamente dos produtores são os herbívoros, chamados **consumidores primários** ou de primeira ordem; aqueles que se alimentam de consumidores primários são **consumidores secundários** ou de segunda ordem. Na sequência, podem ser encontrados os **consumidores terciários** ou de terceira ordem, os quaternários ou de quarta ordem etc.

Figura 10. Representação esquemática de quatro níveis tróficos de um ecossistema. (As imagens não estão em escala entre si.)



Grana: Andreas berheide/Shutterstock.com; Galinhola: Panachai Cherdchueep/Shutterstock.com; Pássaro: bab Souza/Shutterstock.com; Galvão: kgfira/Shutterstock.com

Lembre aos alunos que, nesse exemplo, todos os níveis tróficos cedem matéria orgânica para os decompositores, que não estão representados na figura 10.

Cadeias e teias alimentares

Os ecossistemas caracterizam-se por sequências de transferência de energia e de matéria a partir dos produtores. Uma sequência linear em que os organismos servem de alimento uns para os outros recebe o nome de **cadeia alimentar** (**figura 11**) e inclui produtores, consumidores e decompositores.

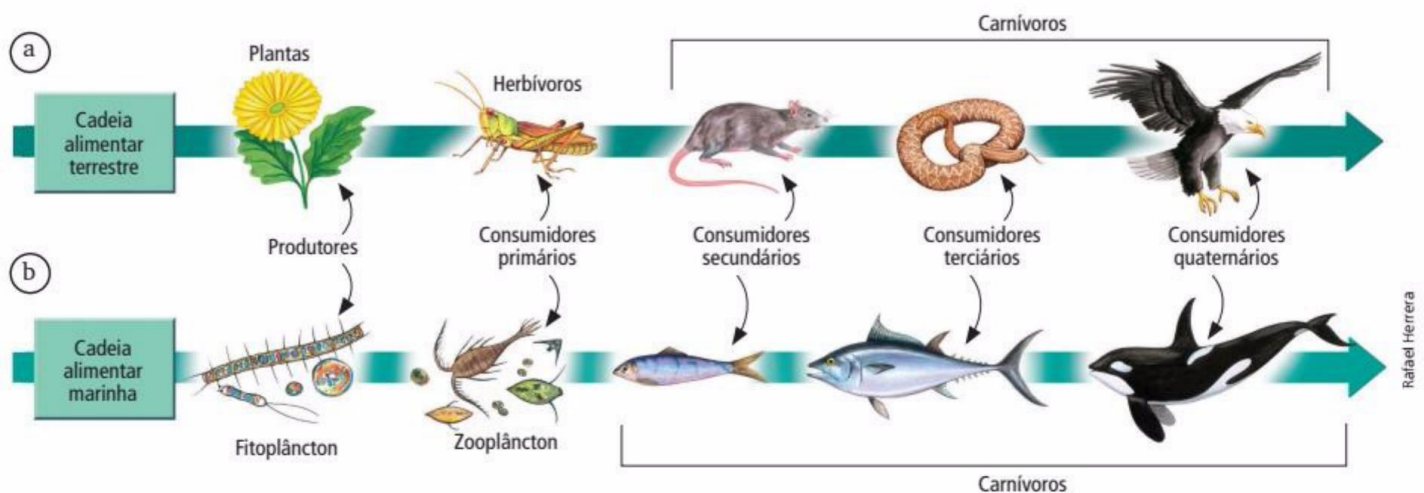
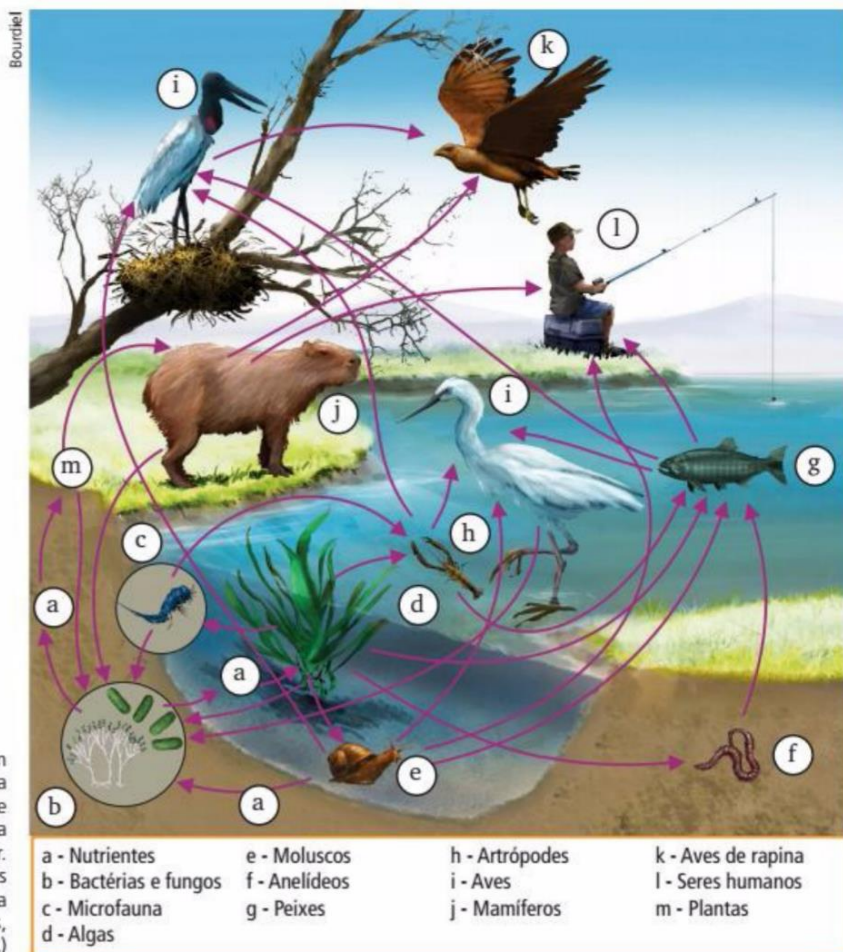


Figura 11. Exemplos de (a) cadeia alimentar terrestre e de (b) cadeia alimentar marinha. Os decompositores, que recebem matéria de todos os níveis das cadeias, não estão representados. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) é o conjunto de organismos com deslocamento predominantemente passivo, dispersos na coluna de água dos ecossistemas aquáticos, ou cuja capacidade de locomoção não é suficiente para vencer o deslocamento das massas de água (marés, correntes etc.).

Fitoplâncton, formado por organismos fotossintetizantes, como algas microscópicas e algumas bactérias. Zooplâncton, formado por organismos heterótrofos, como alguns microcrustáceos.

Nos ecossistemas, as cadeias alimentares inter-relacionadas formam uma **teia alimentar** (figura 12). A grande biodiversidade e o elevado número de nichos ecológicos resultam em teias alimentares complexas. Quanto mais complexas forem as teias alimentares, tanto mais estável será o ecossistema, com muitas opções alimentares para cada espécie, o que permite compensar mais facilmente possíveis oscilações do tamanho das populações.



A notícia

Cadeia alimentar de peixes está se tornando mais simplificada

Seres humanos e a natureza estão conspirando para encurtar as cadeias alimentares, particularmente pela eliminação de peixes grandes

Em estudo publicado recentemente na revista **Science**, pesquisadores demonstram o impacto causado pelas atividades humanas e as mudanças climáticas na cadeia alimentar de peixes na rede hídrica global. Alguns rios estão secando ao mesmo tempo em que outros sofrem variações de seus fluxos de água devido a inundações pelas tempestades. O resultado final mostra que os seres humanos e a natureza estão conspirando para encurtar as cadeias alimentares, particularmente pela eliminação de predadores do topo como muitos peixes grandes.

A equipe de cientistas, de várias instituições norte-americanas liderada

pelo professor da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade do Estado do Arizona John Sabo, sugere que os peixes grandes são os mais afetados pelo uso da água, especialmente pelo aumento da população humana e mudanças climáticas que afetam a disponibilidade do líquido precioso para a vida.

Os pesquisadores estudaram a rede alimentar das vidas que dependem dos rios para as suas sobrevivências. A pesquisa focou 36 rios e córregos dos EUA, que variam em tamanho, desde os rios Colorado e Mississippi até seus pequenos afluentes. [...]

Segundo Sabo, “as inundações simplificam a rede de alimentos, ao eliminar

algumas espécies intermediárias, como o homem, para que o peixe grande, predador do topo, possa comer alimentos que estão mais abaixo na cadeia”. “Com as secas, é completamente diferente, elas simplesmente eliminam completamente o predador do topo porque muitos peixes não podem tolerar o nível baixo de oxigênio e as altas temperaturas que resultam de um fluxo reduzido”. A conclusão do estudo aponta que o resultado final em ambos os casos é uma rede alimentar mais simples, mas os efeitos causados pela redução dos fluxos são mais catastróficos para os peixes e de longa duração. [...]

GERASIMENKO, T. Cadeia alimentar de peixes está se tornando mais simplificada. **O Estado de S. Paulo**, 15 out. 2010. Disponível em: <<http://ciencia.estadao.com.br/blogs/ciencia-diaria/cadeia-alimentar-de-peixes-na-rede-hidrica-global-esta-se-tornando-mais-simplificada/>>. Acesso em: fev. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

De acordo com a notícia, as inundações e os episódios de seca têm efeitos diferentes, mas ambos os fenômenos “simplificam” as cadeias alimentares aquáticas.

1. O que a notícia chama de “simplificação” de uma cadeia alimentar?
2. Ainda conforme a notícia, inundações e secas “simplificam” as cadeias alimentares aquáticas, mas de formas diferentes. Explique essa diferença.

Cascata trófica

Alterações na estrutura da comunidade podem ter efeitos diretos ou indiretos sobre todas as populações que compõem um ecossistema, o que é conhecido como **cascata trófica**.

Tomemos como modelo uma cadeia alimentar com quatro níveis tróficos (produtores, consumidores primários, consumidores secundários e consumidores terciários). O aumento dos recursos (quantidade de alimento) no nível dos produtores poderá acarretar o aumento na abundância alimentar nos níveis superiores, levando ao crescimento das populações de consumidores primários; consequentemente, aumentam as populações de consumidores secundários e de consumidores terciários.

Nessa mesma cadeia alimentar, a hipotética eliminação dos consumidores secundários provocará, por escassez de alimento, a redução da população do nível trófico imediatamente superior (consumidores terciários). Por outro lado, a população do nível trófico imediatamente inferior (consumidores primários) deverá aumentar. Em consequência, ocorrerá redução da população de produtores.

Os efeitos da cascata trófica devem ser especialmente considerados quando se planeja a remoção ou a introdução de uma espécie, por razões de manejo ou controle. Vale lembrar as consequências da interferência humana resultante da introdução do lagarto teiú e do mocó no arquipélago de Fernando de Noronha, o que foi exposto na abertura desse capítulo.

Magnificação trófica

O DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) foi sintetizado em 1874, mas seu efeito inseticida só foi reconhecido em 1939. Na Segunda Guerra Mundial, foi utilizado pelas tropas no combate aos piolhos, artrópodes que transmitem o tifo, importante doença infecciosa. O inseticida também revolucionou o controle da malária, pelo efeito residual que deixa nos locais onde é aplicado e pela eficácia com que elimina o anófele, inseto transmissor do plasmódio.

Na década de 1940, devido à eficiência e ao baixo custo, o DDT passou a ser empregado contra pragas comuns na agricultura, responsáveis por perdas enormes na produção de alimento em todo o mundo.

Em 1962, no célebre livro **Primavera silenciosa**, a zoóloga norte-americana Rachel Carson sugeriu que o DDT explicasse o acentuado declínio da população de muitas espécies de aves situadas no topo das cadeias alimentares, como a águia-careca (*Haliaeetus leucocephalus*) e o falcão-peregrino (*Falco peregrinus*).

Como demonstraram numerosas pesquisas desde então, o efeito do DDT pode ser explicado pela **magnificação trófica** (magnificação biológica ou bioacumulação), que é o aumento da concentração de certo composto químico ao longo de uma cadeia alimentar, desde os produtores até os consumidores do topo.

Concentrando-se nos tecidos dos consumidores de maior ordem, muitos compostos (principalmente inseticidas, fungicidas, mercúrio e outros) têm sido responsabilizados pela diminuição das populações de diversas espécies de carnívoros em todo o mundo (**figura 13**).

Figura 13. Representação esquemática da magnificação trófica: quanto mais elevado o nível trófico, maior a concentração do pesticida, por grama de tecido. Na imagem, cada ponto amarelo representa certa quantidade de DDT. (Imagens sem escala; cores-fantasia.) No destaque, exemplares do zooplâncton, consumidores primários da cadeia alimentar representada. (Imagem de microscopia óptica, aumento aproximado de 75 vezes.)



Bourdiel

Pirâmides ecológicas

Embora a identificação das cadeias e teias alimentares seja um passo importante no estudo dos ecossistemas, também é fundamental o conhecimento das relações quantitativas entre os níveis tróficos. Tais relações podem ser expressas por **pirâmides ecológicas** de três tipos fundamentais: de números, de biomassa e de energia.

Pirâmide de números

Muitos pés de capim podem ser necessários para alimentar um grilo, e um número relativamente menor de grilos para alimentar um mamífero insetívoro; por sua vez, um gavião pode necessitar de ainda menos mamíferos para seu sustento. Percebe-se nesse caso que, a partir dos produtores, o número de indivíduos diminui de um nível trófico para o seguinte.

Pode-se representar o número de indivíduos de cada nível trófico em uma **pirâmide de números** (figura 14a), construída com retângulos sobrepostos, de larguras proporcionais ao número de indivíduos de cada nível. O retângulo da base representa os produtores; sobre ele, apoia-se o retângulo representativo dos consumidores primários, seguido do correspondente aos consumidores secundários, e assim sucessivamente. Os decompositores, que recebem matéria orgânica de todos os níveis da cadeia alimentar, podem não estar representados.

Há **pirâmides de números invertidas** (figura 14b). Uma árvore (produtor), por exemplo, pode fornecer alimento a muitas aves (consumidores primários), que fornecem alimento a uma imensa quantidade de protozoários parasitas (consumidores secundários).

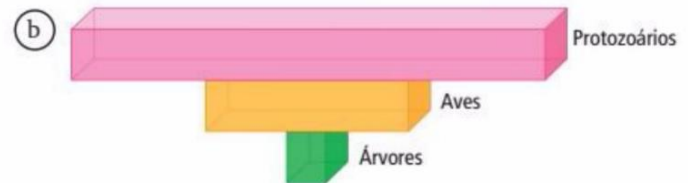
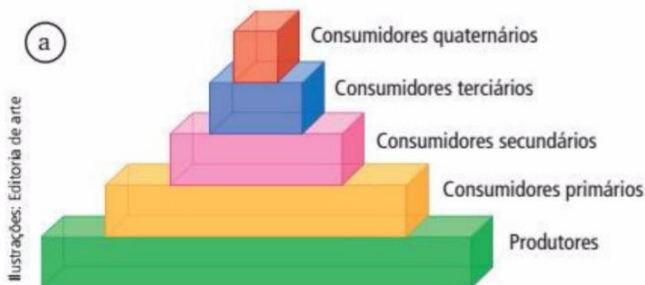


Figura 14. (a) Pirâmide de números; (b) pirâmide de números invertida.

Como é possível uma pequena massa de algas suprir as necessidades alimentares de uma grande massa de crustáceos? Em geral, as algas reproduzem-se por divisão binária, duplicando-se em poucos minutos. Já os crustáceos apresentam processos reprodutivos muito mais lentos, passando inclusive por estágios larvais. Assim, em determinado instante, a biomassa de algas pode estar momentaneamente pequena, porque os crustáceos estão se alimentando delas. No entanto, as algas reproduzem-se rapidamente, repondo os indivíduos consumidos. Logo, uma pirâmide de biomassa invertida corresponde a uma **análise instantânea** da biomassa de cada nível trófico de uma cadeia alimentar, e não considera a reciclagem da matéria ao longo do tempo. É por isso que, em ecossistemas terrestres, não se encontram pirâmides de biomassa invertidas: como os produtores são plantas (organismos pluricelulares de maior porte que as algas), como gramíneas e arbustos, levam muito mais tempo para crescer e se reproduzir.

Pirâmide de biomassa

A biomassa é a quantidade de matéria orgânica contida em um ecossistema ou em um nível trófico. As pirâmides de biomassa representam a massa total de indivíduos que compõem esses níveis tróficos. Exemplificando: uma onça adulta pesa 150 kg e consome, ao longo de um ano, mais de 2 000 kg de carne, o que equivale a cerca de oito bois. Essa quantidade de bois ingere, por ano, 200 t de capim (figura 15a).

Há pirâmides de biomassa em que, em determinado momento, a massa de produtores é menor que a de consumidores primários. Em ecossistemas aquáticos, os produtores são formados principalmente por algas microscópicas unicelulares, que constituem o fitoplâncton, as quais servem de alimento para pequenos crustáceos, um dos componentes do zooplâncton, que, por sua vez, é ingerido pelos peixes. Na pirâmide da figura 15b, está representado o momento no qual a massa das algas é menor que a dos crustáceos.

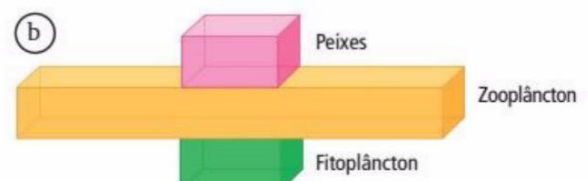
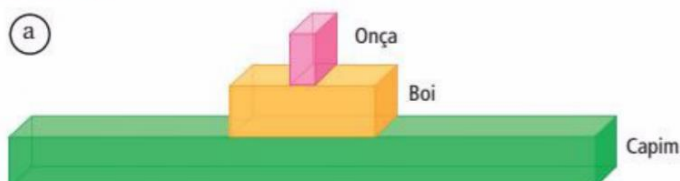
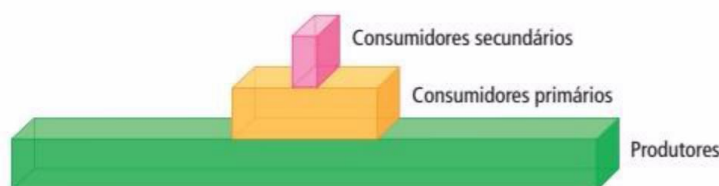


Figura 15. (a) Pirâmide de biomassa; (b) pirâmide de biomassa invertida.

► Pirâmide de energia

Os organismos de cada nível trófico utilizam parte da energia que obtêm para se manterem em atividade. Além disso, perdem energia na forma de fezes, urina, outros resíduos e, principalmente, calor. A transferência de energia entre os níveis tróficos pode ser representada por uma **pirâmide de energia** (**figura 16**), em que cada retângulo representa o total de energia armazenada nos componentes de determinado nível trófico.

Não existem pirâmides de energia invertidas. Cada nível trófico sempre tem maior quantidade de energia armazenada na matéria orgânica que o nível superior. Quanto mais afastados os níveis tróficos estiverem dos produtores, tanto menor será a quantidade de energia armazenada.



Editoria de arte

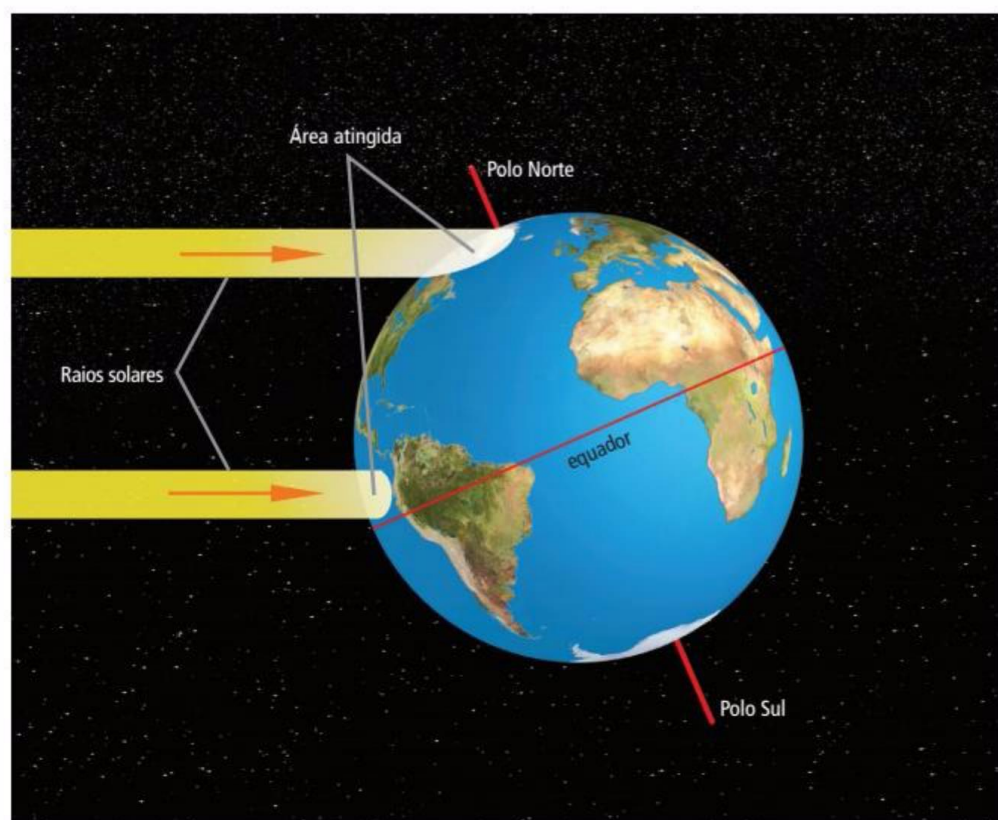
Figura 16. Pirâmide de energia.

Produtividade

Chama-se **produtividade** a quantidade de matéria orgânica (e, conseqüentemente, de energia) fixada pelos organismos de certo nível trófico, em uma determinada região em um certo intervalo de tempo. No nível trófico dos produtores, responsáveis pela síntese da matéria orgânica e pela entrada da energia no ecossistema, essa quantidade constitui a **produtividade primária**. A **produtividade primária bruta** (PPB) é a quantidade de matéria orgânica sintetizada pelos produtores de certa região, em determinado intervalo de tempo.

Vários fatores ambientais interferem na fotossíntese e, conseqüentemente, na produtividade. Veja a seguir.

- **Luz.** É a fonte energética básica (**figura 17**). A energia proveniente do Sol também promove o aquecimento do planeta, participando da determinação da temperatura.



Luís Moura

Figura 17. Na região equatorial, os raios solares incidem sobre a superfície terrestre concentrando a energia em uma área menor. Nas regiões polares, há dispersão da energia em uma área mais extensa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- **Gás carbônico.** Presente no ar e na água, é outro reagente da fotossíntese.
- **Água.** Além de ser um dos reagentes da fotossíntese, dissolve as substâncias que participam desse processo, possibilitando a ocorrência de reações químicas (**figura 18a**).
- **Temperatura.** Interfere na atividade das enzimas, substâncias que aumentam a velocidade das reações químicas nos seres vivos (**figura 18b**).
- **Minerais.** O magnésio, por exemplo, é o átomo central da molécula da clorofila.

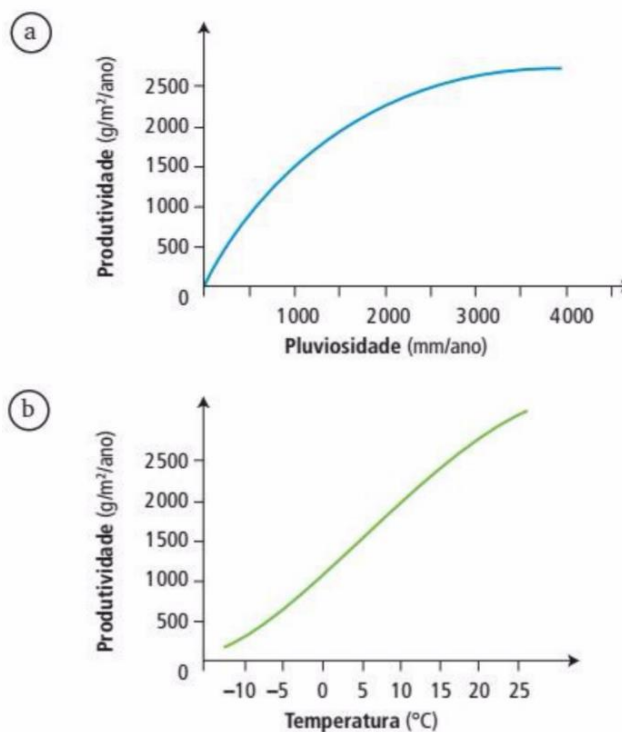


Figura 18. Esses gráficos representam as relações (a) entre produtividade primária e pluviosidade e (b) entre produtividade primária e média anual de temperatura de um ambiente hipotético.

Fonte: RAVEN, P. H.; BERG, L. R.; JOHNSON, G. B. **Environment**. New York: John Wiley & Sons, 2012.

Em relação à Floresta Amazônica, a Caatinga do Nordeste brasileiro recebe praticamente a mesma quantidade de energia luminosa; porém, a escassez de água responde pela menor produtividade primária bruta do local.

Parte da matéria orgânica sintetizada pelos produtores não é retida por eles, mas consumida na respiração celular aeróbica. O restante pode ser consumido pelos heterótrofos, que usam na sua respiração celular aeróbica parte da matéria orgânica assimilada.

Descontando-se do total da matéria orgânica sintetizada pelos produtores (ou seja, da PPB) a parcela que eles próprios consomem, tem-se a **produtividade primária líquida** (PPL), que é o saldo disponível, para os heterótrofos, da matéria orgânica sintetizada pelos produtores em uma região, em certo intervalo de tempo (**figura 19**).

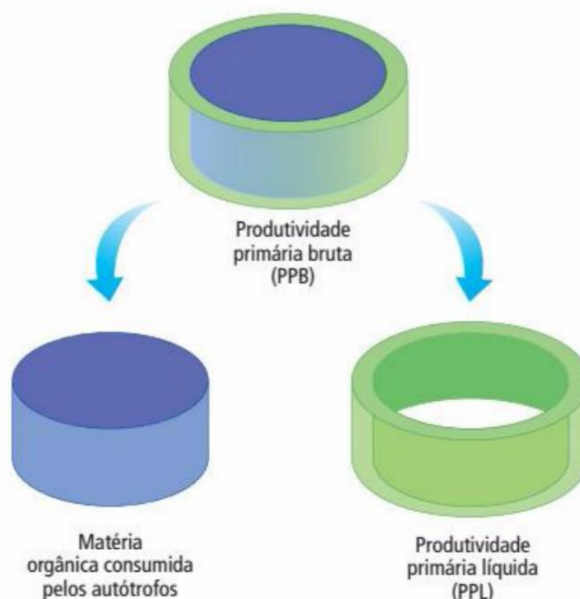


Figura 19. De toda matéria orgânica produzida pelos autótrofos (ou seja, a PPB), a menor parte (que corresponde à PPL) permanece disponível para os heterótrofos (consumidores e decompositores), enquanto a maior parte é consumida pelos próprios autótrofos.

► PPL e agricultura

Do ponto de vista estritamente energético, o que permite suprir maior número de pessoas: alimentação à base de plantas ou de animais? Evidentemente, uma dieta de vegetais, pois a oferta global de energia dos produtores é muito maior que a dos consumidores.

A história da batata é bastante ilustrativa. Essa planta é oriunda da América do Sul e foi introduzida na Europa no século XVI. Seu conteúdo energético é bem superior ao de outros alimentos vegetais até então consumidos pelos europeus e, com isso, foi possível alimentar mais pessoas com a mesma área cultivada. O resultado foi um grande aumento populacional, que acabou repercutindo na oferta de mão de obra, aproveitada em áreas urbanas, mesmo na atividade industrial, que o século XIX viu surgir e que teve grande importância socioeconômica e política, assim como forte impacto ambiental.

Entretanto, essa dependência quase exclusiva da batata como alimento básico foi desastrosa. Várias pragas afetaram a produção: a murcha da batata, por exemplo, doença causada por uma espécie de fungo, levou à perda de toda uma safra da Irlanda. Entre 1846 e 1854, esse país foi assolado pela fome e epidemias, que levaram à morte cerca de 1 milhão de pessoas, provocando uma onda migratória de mais de um milhão e meio de irlandeses para os Estados Unidos.



As agruras das populações pobres da Europa durante a Revolução Industrial e outros aspectos da nutrição humana podem ser destacados: Como viviam os trabalhadores nas cidades que se industrializavam rapidamente? Apesar de a oferta de batatas ter sido suficiente até então, todos os nutrientes essenciais estariam disponíveis? As epidemias que se seguiram à escassez podem ser atribuídas apenas a deficiências nutricionais?

Figura 20. Os comedores de batata (1885), óleo sobre tela de Vincent van Gogh, atualmente exposto no Museu Van Gogh, em Amsterdã (Holanda). A respeito dessa obra, o pintor holandês disse que pretendeu mostrar que os camponeses comiam as batatas com as mesmas mãos com que cultivavam a terra, exaltando o trabalho manual que dava a eles o alimento e destacando, assim, o papel social da arte.

Áreas agrícolas destinadas à produção de **alimentos** (feijão, arroz ou batata, por exemplo) ou de matéria-prima para a obtenção de **biocombustíveis** (como o etanol derivado de cana-de-açúcar ou milho) devem gerar grandes excedentes de matéria orgânica, que são removidos e exportados na colheita. Em outras palavras, a PPL deve ter saldo fortemente positivo. Para tanto, essas áreas precisam receber grandes quantidades de **insumos**, por meio de irrigação, correção do pH do solo, aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas etc.

Figura 21. Uma das críticas que se fazem à produção de biocombustíveis reside na enorme demanda por área para o cultivo de variedades que possam ser utilizadas na fabricação do etanol. No Brasil, por exemplo, vastas extensões de terra são cultivadas com cana-de-açúcar. Na foto, canavial na zona rural de Jaú, SP, 2013.

Cadeia alimentar

Esta atividade deve ser realizada com um grupo de no mínimo 20 alunos, em ambiente que tenha espaço físico suficiente para a movimentação de todos, como uma quadra de futebol ou o próprio pátio da escola. A atividade consiste na representação de uma possível cadeia alimentar, envolvendo 3 componentes:

A — plantas (produtores).

B — preás (consumidores primários).

C — jaguatiricas (consumidores secundários).

Objetivos

- Analisar a relação produtor/consumidor.
- Entender como se processa a transferência de matéria e energia nas cadeias alimentares.

Materiais

- fitas de 3 cores diferentes (o número de fitas de cada cor deve ser superior ao número de integrantes do jogo)
- apito
- tabela para acompanhar o desenvolvimento do jogo, conforme modelo:

Gerações	Plantas	Preás	Jaguatiricas
1ª			
2ª			
3ª			
4ª			
5ª			
6ª			
7ª			
8ª			
9ª			
10ª			

Procedimentos

1. A classe deverá ser dividida em três grupos (plantas, preás e jaguatiricas), deixando-se, porém, o grupo das plantas com um número ligeiramente maior que os demais. Da mesma forma, o grupo dos preás deve ser maior que o das jaguatiricas.
2. As fitas devem ser amarradas na cabeça ou no pulso de cada um dos integrantes. Cada cor representa um elo da cadeia.

3. As plantas ficarão espalhadas pelo pátio, os preás deverão ser dispostos em círculo, ficando distantes 5 a 6 metros das jaguatiricas, que também estarão dispostas em círculo, envolvendo o círculo dos preás.
4. O jogo terá dez rodadas. Para iniciar uma rodada, o professor deverá apitar uma vez e, para terminá-la, duas vezes.

Regras do jogo

1. Plantas

As plantas deverão ficar espalhadas pelo pátio ou pelo lugar escolhido para o jogo, e permanecer nos seus locais. Quando apanhadas pelos preás, deverão permanecer no local onde foram apanhadas até a próxima rodada e, então, ir ao grupo dos preás.

2. Preás

Cada preá deve procurar apanhar uma planta e evitar ser capturado por uma jaguatirica. A única defesa possível dos preás é abaixar-se. Abaixando-se, estarão escondidos das jaguatiricas. Quando apanhados por uma jaguatirica, os preás deverão permanecer no local onde foram capturados até o término da rodada. Na rodada seguinte, esses preás passarão a ser jaguatiricas.

3. Jaguatiricas

As jaguatiricas deverão tentar capturar um preá. Os preás e as jaguatiricas que não conseguirem alimento voltarão na rodada seguinte, como plantas.

Os preás e as jaguatiricas que conseguirem alimento continuarão como tais.

As plantas que foram capturadas voltam como preás. Os preás capturados voltam como jaguatiricas.

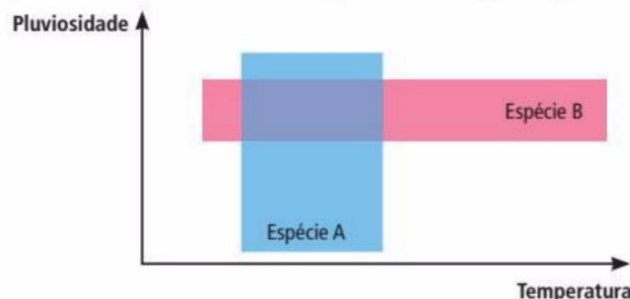
Fonte das informações: Centro de Divulgação Científica e Cultural – São Carlos/USP. Disponível em: <<http://www.cdcc.usp.br/exper/fundamental/roteiros/caop1.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

Resultados e discussão

Escreva
no caderno

- a) Ao término do jogo, em dupla, copie os dados da tabela em seu caderno.
- b) Explique, em termos ecológicos, por que cada planta apanhada ou preá capturado voltava, na rodada seguinte, como preá ou jaguatirica, respectivamente.
- c) Explique, em termos ecológicos, por que cada jaguatirica ou preá que não conseguia alimento voltava na rodada seguinte como planta.
- d) Explique, em termos ecológicos, por que os preás e as jaguatiricas que conseguiam alimentos permaneciam como tais na rodada seguinte.
- e) Após dez rodadas, qual foi a população mais numerosa? E a menos numerosa? Formule hipóteses para explicar os resultados.

1. Um biólogo analisou duas espécies (A e B) quanto aos limites de tolerância a dois fatores ambientais — pluviosidade e temperatura. Com os dados obtidos, construiu o seguinte gráfico:



Quais afirmativas seguintes podem ser admitidas como verdadeiras? Justifique as respostas.

- V I. Os membros da espécie A são mais tolerantes a variações de pluviosidade que os membros da espécie B.
- F II. Em nenhum habitat, podem ser encontrados, simultaneamente, membros das espécies A e B.
- F III. Deve haver intensa competição entre os membros das espécies A e B, uma vez que existe sobreposição de nichos ecológicos entre elas.

2. (FMTM-MG) Pesquisadores brasileiros que estudam a nascente de águas cristalinas de baía Bonita, na região de Bonito (MS), registraram uma curiosa rede alimentar: peixes conhecidos como piraputangas concentram-se em regiões dessa nascente, onde grupos de macacos-prego se alimentam de frutos das árvores existentes ao redor da água. Os macacos deixam alguns frutos cair na água, atraindo as piraputangas, que se alimentam dos frutos. Concentradas na obtenção de alimento, as piraputangas tornam-se presas fáceis de outros peixes, como os dourados. Em dada ocasião, um dos pesquisadores observou que uma piraputanga que havia sido mordida por um dourado, mas conseguira escapar, acabou capturada por uma sucuri.

- a) Entre os organismos citados no texto, qual ou quais são produtores? Qual ou quais são consumidores secundários?
- b) Que organismos não citados no texto ocupam o último nível de transferência de energia entre os organismos do ecossistema?

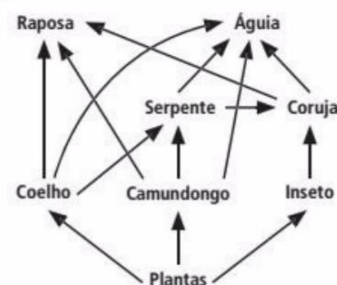
3. Abundantes na natureza, as bactérias e os fungos são agentes etiológicos de numerosas doenças em plantas e animais (inclusive em seres humanos).

Considere a hipótese de que pesquisadores sintetizassem uma substância que, sem exercer efeito tóxico sobre os demais componentes bióticos dos ecossistemas, fosse capaz de erradicar bactérias e fungos. Se essa substância fosse espalhada por toda a superfície da Terra, o que deveria ocorrer com a produtividade primária bruta dos ecossistemas? Justifique a resposta.

4. Geralmente, associa-se a necessidade de se preservar a biodiversidade a aves ou mamíferos ameaçados de extinção. Entretanto, outros organismos, raramente lembrados, desempenham papéis fundamentais na manutenção dos ecossistemas.

- a) Aponte os principais papéis ecológicos desempenhados por microrganismos, como bactérias e fungos.
- b) Minhocas e urubus têm hábitos alimentares semelhantes em alguns aspectos. Que papel esses organismos desempenham nas cadeias alimentares das quais participam?

5. Observe a seguinte teia alimentar:

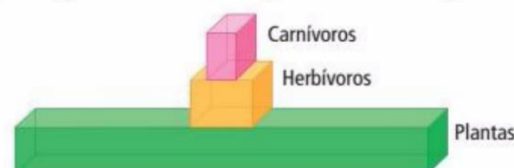


Ilustrações: Editora de arte

- a) Na teia alimentar apresentada, destaque uma cadeia alimentar com cinco níveis tróficos e classifique os elementos destacados de acordo com seu papel na cadeia.
- b) Dos componentes da teia, quais ocupam, simultaneamente, três níveis tróficos? Explique.

6. (UERJ) Em um lago, três populações formam um sistema estável: microcrustáceos que comem fitoplâncton e são alimento para pequenos peixes. O número de indivíduos desse sistema não varia significativamente ao longo dos anos, mas, em um determinado momento, foi introduzido no lago um grande número de predadores dos peixes pequenos. Identifique os níveis tróficos de cada população do sistema estável inicial e apresente as consequências da introdução do predador para a população de fitoplâncton.

7. A figura seguinte mostra uma pirâmide de energia.



- a) Nessa figura, o que representa a largura de cada nível?
- b) Por que a largura de um nível não pode ser maior que a do nível imediatamente inferior?
- c) Caso a pirâmide incluía todos os seres vivos de um ecossistema, que organismos estarão presentes na base dessa pirâmide?

8. (Unirio-RJ)

Homem já "come" quase metade da Terra

Há pouco para comemorar no Dia Mundial do Meio Ambiente, apesar dos esforços de pesquisa e conscientização que marcaram as últimas décadas. As mais de 6 bilhões de pessoas monopolizam hoje 45% de toda a matéria viva produzida em terra firme — e nada indica que essa taxa esteja parando de crescer. O cálculo, feito por pesquisadores como o americano Paul Ehrlich, da Universidade Stanford, e Stuart Pimm, da Universidade Duke (ambas nos Estados Unidos), é o mais abrangente possível. Os estudos se baseiam numa medição de produtividade primária — a massa viva produzida pelas plantas a cada ano.

Fonte: <http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia>

As diferentes medidas de produtividade primária têm sido frequentemente utilizadas nos estudos de ecossistemas. Assim sendo, responda:

- a) Qual a diferença entre produtividade primária bruta e produtividade primária líquida?
- b) A qual das duas taxas o percentual de 45% mencionado se refere?

Reservas indígenas em debate

Parte da matéria orgânica sintetizada pelos organismos fotossintetizantes de um ecossistema é consumida por eles, na respiração celular aeróbia. Se, da quantidade total da matéria orgânica sintetizada na fotossíntese, descontarmos a quantidade consumida na respiração celular aeróbia, o saldo constitui a produtividade primária líquida (PPL).

Os ecossistemas agrícolas demandam insumos e investimento energético (aração, correção do pH, aplicação de fertilizantes, combate a plantas e insetos que podem prejudicar as plantações, entre outros procedimentos) que garantem elevada PPL. Dessa forma, resultam em excedente de matéria orgânica, que é exportada desses ecossistemas.

A produtividade média anual da soja no Brasil, por exemplo, é superior a 3 200 kg/hectare. Isso significa que mais de três toneladas de grãos de soja são retiradas todos os anos de cada 10 000 m² de plantação, o que só é possível devido aos investimentos em mecanização e agro-químicos.

Já os ecossistemas naturais (como as florestas pluviais) correspondem a comunidades em estado de equilíbrio. A matéria orgânica sintetizada é quase integralmente consumida pelos membros da comunidade; portanto, há pequeno saldo de matéria orgânica exportável.

Se compararmos áreas de agricultura intensiva e áreas florestadas, a PPL das primeiras é proporcionalmente muito maior. Por isso, as populações que dependem da caça, da pesca e da coleta (frutos, raízes e outros alimentos de origem vegetal) requerem áreas proporcionalmente maiores do que as populações que obtêm alimentos em práticas agrícolas intensivas.

Muita polêmica envolve as propostas de ampliação das áreas de reservas indígenas, a demarcação de novas áreas e a implantação das reservas já legalizadas e/ou demarcadas. Nessa discussão, ainda que seja fundamental destacar os aspectos históricos, sociológicos, antropológicos e políticos, também devem ser levados em conta a perspectiva ecológica e o conceito de produtividade primária líquida.

A respeito da implantação das reservas indígenas, leia os textos a seguir.

Texto 1

Muita terra para pouco fazendeiro

A Confederação Nacional da Agricultura deseja provar que o problema dos nossos índios não é terra. Errado.

Muita terra têm os grandes produtores rurais

Ganhou espaço nesta Folha a divulgação de pesquisa encomendada pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) com a pretensão de traçar um perfil da população indígena do país.

Uma de suas conclusões deixa clara a tese que pretende comprovar: "A situação territorial também causa preocupação, mas não é o maior problema, como afirmado por ONGs, movimentos sociais e certas áreas de governo".

[...]

A própria enquête mostra que 94% dos indígenas entrevistados praticam agricultura, 85% caçam e 86% pescam frequentemente, atividades que dependem de áreas extensas e preservadas. Mostra ainda que 68% dos índios da região Sul, que têm apenas 0,18% das terras demarcadas, recebem cestas básicas, apesar de a maioria (52%) ter trabalho remunerado. No Norte, que abriga 81% das terras, só 7% dos índios dependem de cestas básicas, embora poucos tenham emprego.

[...]

A CNA sugere que "há muita terra para pouco índio", já que 520 mil indígenas aldeados vivem em 113 milhões de hectares de terras indígenas. Ocorre que 98,5% dessa área estão na Amazônia, onde

Indígenas realizando dança angene com flautas atanga-kuarup. Tribo indígena Kalapalo na aldeia Aiha. Parque indígena do Xingu, MT, 2011.

Fabio Colombini

vivem 60% dos indígenas do país. Os outros 40% dispõem de apenas 1,5% de todas as terras, em geral em áreas exiguas. O Mato Grosso do Sul é um caso emblemático.

Muita terra têm os grandes produtores rurais, representados pela CNA. Segundo o IBGE, os 67 mil maiores proprietários possuem 195 milhões de hectares, 72% a mais que os índios. Além disso, as terras indígenas preservam 98% da sua vegetação nativa e prestam serviços ambientais a toda sociedade.

Quem mais precisa de terra são os 45 mil guarani-caiova, alvo principal da CNA, confinados em 95 mil hectares oficialmente reconhecidos, mas ainda ocupados em grande medida por fazendeiros. Eles dispõem de área muito menor que os 700 mil hectares destinados a 28 mil famílias assentadas da reforma agrária no Estado.

[...]

SANTILI, M.; VALLE, R. Muita terra para pouco fazendeiro. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 29 nov. 2012. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/80697-muita-terra-para-pouco-fazendeiro.shtml>>. Acesso em: mar. 2016.

Texto 2

A manipulação de um conflito

*A Funai, sem base legal, quer transformar um quinto do Brasil em terra indígena.
Há 460 mil índios no país, cerca de 0,25% da nossa população.*

[...] Nada menos que 14,7% do território nacional, ou 125 milhões de hectares, pertencem aos índios. São cerca de 115 mil famílias ou 460 mil habitantes em aldeias — 0,25% da população nacional.

Já a população urbana — cerca de 40 milhões de famílias ou 160 milhões de habitantes — ocupa 11% do território (93 milhões de hectares).

A população rural de assentados — 1 milhão de famílias ou 4 milhões de pessoas — ocupa 88 milhões de hectares ou 10,3% do território. Esse percentual, somado a toda a área de produção agrícola (grãos, pastagens etc.), perfaz um total de 27,7% de todo o território nacional.

Os recentes conflitos, envolvendo agricultores e índios, não decorrem, como se sustenta, da tentativa de reduzir a área indígena.

Trata-se do contrário: a Funai quer ampliá-las. Acha insuficientes os 14,7% e quer estendê-los, sem base legal, para 20%.

Ampliar as áreas indígenas de 14,7% para 20% do território implica em acrescentar 45 milhões de hectares ao que hoje está demarcado. Como não se espera que essa ampliação se dê sobre unidades de conservação ou terras devolutas, a agropecuária é que irá ceder espaço.

As pretensões indígenas equivalem a mais de 10 Estados do Rio de Janeiro ou 19% da área hoje ocupada com a produção de alimentos, fibras e biocombustíveis. Retirar de produção essa área levará a uma redução estimada em US\$ 93 bilhões ao ano no valor bruto da produção do setor. [...]

Quem ganha com isso? Não é o país, que hoje desfruta da melhor e mais barata comida do mundo e ostenta a condição de segundo maior exportador de alimentos.

Não são também os índios, que, como os números mostram, não precisam de espaço físico, mas de saneamento, de educação e de um sistema de saúde eficiente. Precisam, enfim, de uma vida mais digna, como todos nós.

ABREU, K. A manipulação de um conflito. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 16 maio 2012. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/43093-a-manipulacao-de-um-conflito.shtml>>. Acesso em: mar. 2016.

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Aponte a ideia central de cada texto e identifique os principais argumentos de cada autor.
2. Os textos expressam opiniões convergentes ou antagônicas? Localize palavras e/ou frases que expressam convergência ou oposição.
3. Qual é sua opinião a respeito?
4. Discuta as opiniões dos autores e a sua própria opinião, confrontando-as com a dos seus colegas.

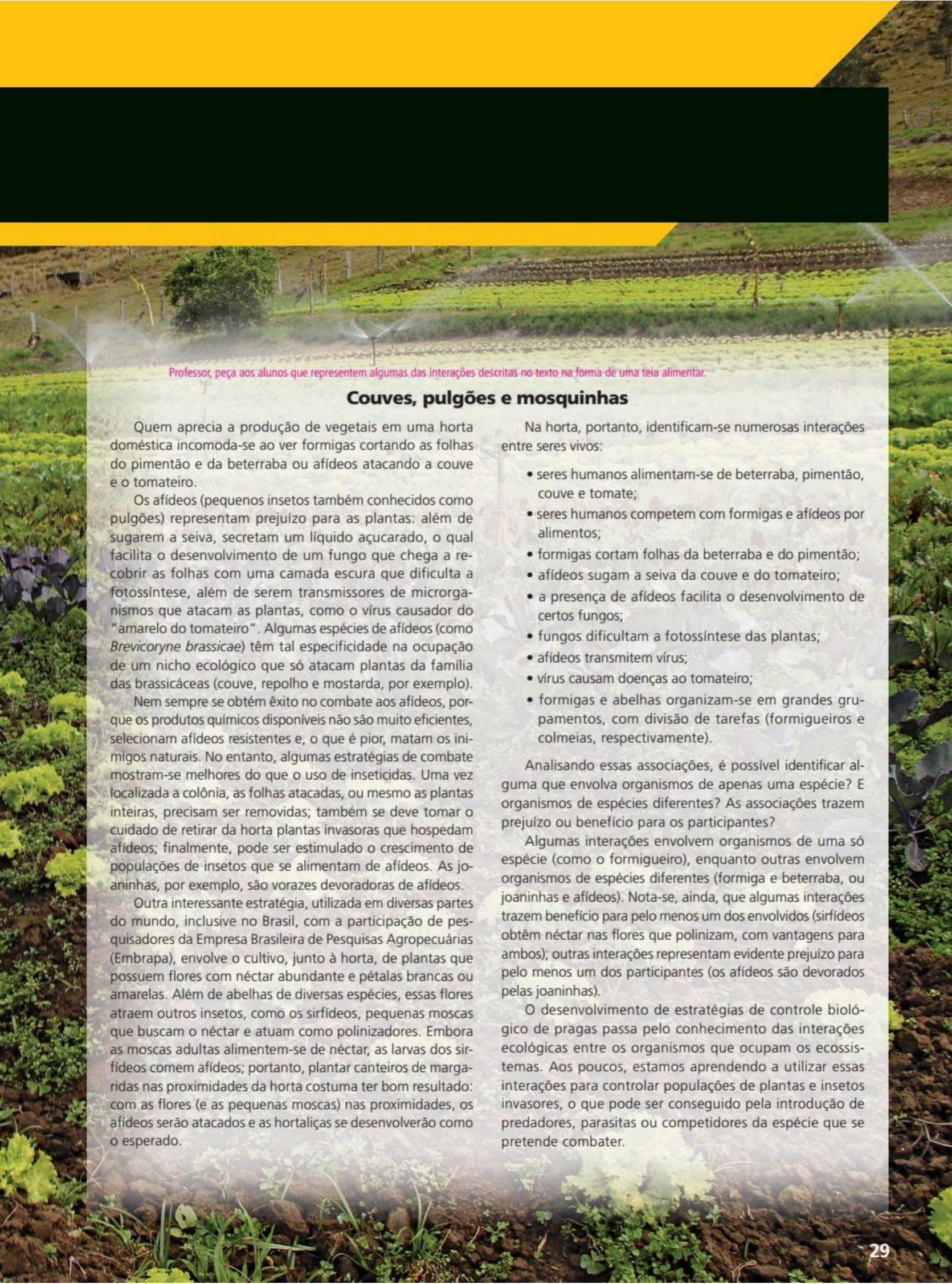
Comunidades

Interações e adaptações



Ronaldo Nina/Tyba

Uma horta é um laboratório vivo, em que uma fervilhante teia de interações entre diferentes seres vivos pode passar despercebida diante dos nossos olhos (Teresópolis, RJ, 2013).



Professor, peça aos alunos que representem algumas das interações descritas no texto na forma de uma teia alimentar.

Couves, pulgões e mosquinhas

Quem aprecia a produção de vegetais em uma horta doméstica incomoda-se ao ver formigas cortando as folhas do pimentão e da beterraba ou afídeos atacando a couve e o tomateiro.

Os afídeos (pequenos insetos também conhecidos como pulgões) representam prejuízo para as plantas: além de sugarem a seiva, secretam um líquido açucarado, o qual facilita o desenvolvimento de um fungo que chega a recobrir as folhas com uma camada escura que dificulta a fotossíntese, além de serem transmissores de microrganismos que atacam as plantas, como o vírus causador do “amarelo do tomateiro”. Algumas espécies de afídeos (como *Brevicoryne brassicae*) têm tal especificidade na ocupação de um nicho ecológico que só atacam plantas da família das brassicáceas (couve, repolho e mostarda, por exemplo).

Nem sempre se obtém êxito no combate aos afídeos, porque os produtos químicos disponíveis não são muito eficientes, selecionam afídeos resistentes e, o que é pior, matam os inimigos naturais. No entanto, algumas estratégias de combate mostram-se melhores do que o uso de inseticidas. Uma vez localizada a colônia, as folhas atacadas, ou mesmo as plantas inteiras, precisam ser removidas; também se deve tomar o cuidado de retirar da horta plantas invasoras que hospedam afídeos; finalmente, pode ser estimulado o crescimento de populações de insetos que se alimentam de afídeos. As joaninhas, por exemplo, são vorazes devoradoras de afídeos.

Outra interessante estratégia, utilizada em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, com a participação de pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), envolve o cultivo, junto à horta, de plantas que possuem flores com néctar abundante e pétalas brancas ou amarelas. Além de abelhas de diversas espécies, essas flores atraem outros insetos, como os sirfídeos, pequenas moscas que buscam o néctar e atuam como polinizadores. Embora as moscas adultas alimentem-se de néctar, as larvas dos sirfídeos comem afídeos; portanto, plantar canteiros de margaridas nas proximidades da horta costuma ter bom resultado: com as flores (e as pequenas moscas) nas proximidades, os afídeos serão atacados e as hortaliças se desenvolverão como o esperado.

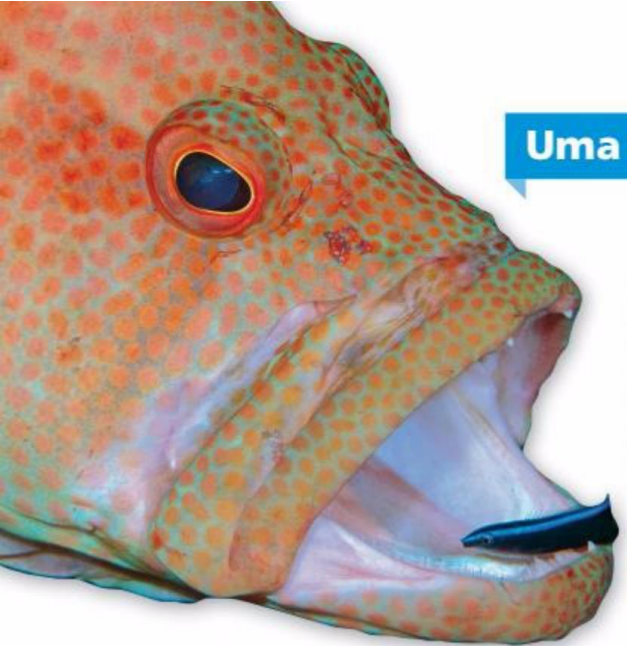
Na horta, portanto, identificam-se numerosas interações entre seres vivos:

- seres humanos alimentam-se de beterraba, pimentão, couve e tomate;
- seres humanos competem com formigas e afídeos por alimentos;
- formigas cortam folhas da beterraba e do pimentão;
- afídeos sugam a seiva da couve e do tomateiro;
- a presença de afídeos facilita o desenvolvimento de certos fungos;
- fungos dificultam a fotossíntese das plantas;
- afídeos transmitem vírus;
- vírus causam doenças ao tomateiro;
- formigas e abelhas organizam-se em grandes agrupamentos, com divisão de tarefas (formigueiros e colmeias, respectivamente).

Analisando essas associações, é possível identificar alguma que envolva organismos de apenas uma espécie? E organismos de espécies diferentes? As associações trazem prejuízo ou benefício para os participantes?

Algumas interações envolvem organismos de uma só espécie (como o formigueiro), enquanto outras envolvem organismos de espécies diferentes (formiga e beterraba, ou joaninhas e afídeos). Nota-se, ainda, que algumas interações trazem benefício para pelo menos um dos envolvidos (sirfídeos obtêm néctar nas flores que polinizam, com vantagens para ambos); outras interações representam evidente prejuízo para pelo menos um dos participantes (os afídeos são devorados pelas joaninhas).

O desenvolvimento de estratégias de controle biológico de pragas passa pelo conhecimento das interações ecológicas entre os organismos que ocupam os ecossistemas. Aos poucos, estamos aprendendo a utilizar essas interações para controlar populações de plantas e insetos invasores, o que pode ser conseguido pela introdução de predadores, parasitas ou competidores da espécie que se pretende combater.



Fred Bavendam/Minden Pictures/Latinstock

Figura 1. Embora seja um carnívoro, a garoupa (*Cephalopholis sonnerati*, 43 cm de comprimento) abre a imensa boca e permite que um pequeno peixe bodião-limpador (*Labroides dimidiatus*, 14 cm de comprimento) faça o serviço de limpeza. A interação entre eles é benéfica para ambos.

Uma rede de interações

Além de serem indispensáveis para os organismos participantes, as relações entre os seres vivos contribuem para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas (**figura 1**). Essas relações envolvem aspectos como alimento, abrigo e transporte, fatores importantes para a sobrevivência e a reprodução das espécies. Como vimos no texto de abertura desse capítulo, o conhecimento dessas relações tem sido empregado, por exemplo, para criar formas de combate a plantas e insetos invasores, substituindo herbicidas e inseticidas, com evidente vantagem para o ambiente e para a saúde das pessoas.

As **relações ecológicas** (interações ou associações) entre indivíduos da mesma espécie são chamadas **intraespecíficas**; as que existem entre indivíduos de espécies diferentes são **interespecíficas**.

► Relações harmônicas

São as relações em que só há benefício (para um ou ambos os participantes). Podem ser intraespecíficas (sociedades e colônias) ou interespecíficas (mutualismo, protocooperação e comensalismo).

► A expressão **simbiose** define uma relação íntima, harmônica ou desarmoniosa. Inclui, por exemplo, o mutualismo, o comensalismo e o parasitismo, mas atualmente tem sido usada apenas para protocooperação e mutualismo.

► Sociedades e colônias

Muitas espécies (como as de cupins, de abelhas e de formigas) organizam-se em **sociedades**, agrupamentos permanentes e cooperativos nos quais pode ocorrer divisão de trabalho, que facilita a sobrevivência dos indivíduos.

As formigas (**figura 2a**), por exemplo, formam sociedades com divisão de trabalho e **castas**, grupos de indivíduos que apresentam formas características e desempenham funções específicas. A defesa e a manutenção do formigueiro são feitas pelas operárias (soldados, cortadeiras e jardineiras), morfologicamente diferentes dos indivíduos reprodutores. Cupins e abelhas são outros exemplos de insetos sociais.

As **colônias** também caracterizam-se como relações harmônicas e intraespecíficas, mas diferem das sociedades porque os indivíduos estão ligados fisicamente entre si. Muitas espécies de bactérias e cianobactérias, algas, protozoários, poríferos e cnidários são exemplos de organismos que formam colônias.

Algumas colônias, como as de corais (**figura 2b**), são constituídas por muitos indivíduos com a mesma forma e sem divisão de trabalho, ou seja, cada indivíduo executa as atividades necessárias à própria sobrevivência e reprodução. Em outras colônias, há divisão de trabalho e os indivíduos exibem formas diferentes, adaptadas à realização de funções específicas. Nas caravelas-portuguesas, que são colônias do gênero *Physalia* (**figura 2c**), um indivíduo em forma de bolsa acumula gás e é responsável pela flutuação da colônia, enquanto outros se encarregam da nutrição, da defesa e da reprodução.



Figura 2.
(a) Formigas (*Atta* sp., 12 a 15 mm de comprimento),
(b) corais (*Paramuricea clavata*, 55 cm de comprimento) e
(c) caravela-portuguesa (*Physalia* sp., 50 cm de comprimento).

Fotos: a) Fabio Colombini; b) Alexis Rosenfeld/SP/Latinstock; c) Norbert Wu/Minden Pictures/Latinstock

Texto 1

Efeito danoso de inseticidas na vida de abelhas é comprovado

Colônias expostas à pesticida são menores e têm menos rainhas

Abelhas e suas primas próximas, as mamangabas, estão sendo afetadas por inseticidas usados para proteger culturas agrícolas de modos só agora descobertos.

Pesticidas pelo jeito não matam apenas pestes. O declínio de populações de abelhas, essenciais para a polinização de plantas, é um fenômeno que se suspeitava ser causado por eles. E agora dois estudos independentes publicados recentemente na revista **Science** demonstraram causa e efeito.

[...]

Um dos estudos, pela equipe de Penelope Whitehorn, da Universidade de Stirling, Reino Unido, investigou o impacto de um desses pesticidas, o imidacloprid, em mamangabas da espécie *Bombus terrestris*.

Um dos coautores do estudo [...] lembra que várias espécies de mamangabas se tornaram extintas em anos recentes nos EUA e no Reino Unido.

Depois de receberem doses não letais do pesticida, os insetos foram colocados em um lugar onde poderiam agir em condições naturais por seis semanas.

No final do experimento, as colônias de mamangabas que foram expostas ao pesticida eram em média entre 8% a 12% menores do que outras estudadas ao mesmo tempo sem o inseticida.

E ainda mais grave: as colônias expostas ao pesticida produziram 85% menos rainhas, essenciais para a reprodução de novas colônias.

Já uma equipe na França [...] usou um enfoque mais tecnológico: abelhas receberam minúsculos equipamentos

de identificação por rádio grudados no tórax e tiveram seus movimentos minuciosamente detalhados.

Algumas delas receberam uma pequena dose de outro pesticida, o thiamethoxam.

As abelhas que receberam o pesticida morreram bem mais; as chances de não voltarem à colônia depois de saírem em busca de pólen eram de duas a três vezes maiores, pois com quase certeza o thiamethoxam interferiu na sua capacidade de navegação.

Abelhas e mamangabas são importantes para a polinização de culturas agrícolas, como árvores frutíferas. Que um pesticida usado para proteger um setor da agricultura afete outro é uma curiosa ironia, além de um grave problema potencial.

BONALUME NETO, R. Efeito danoso de inseticidas na vida de abelhas é comprovado. **Folha de S.Paulo**, 6 abr. 2012. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/35502-efeito-danoso-de-inseticidas-na-vida-de-abelhas-e-comprovado.shtml>>. Acesso em: mar. 2016.

Texto 2

Aquecimento global é o principal fator do declínio das abelhas, diz estudo

Pesquisa publicada na Science sugere migrar as colmeias para salvar espécies da mudança do clima

Uma das crises ecológicas que mais assustam os biólogos é o desaparecimento, em larga escala, das abelhas. Estima-se que a população de abelhas tenha caído 40% nos Estados Unidos e 50% na Europa nos últimos 25 anos. Um quarto das espécies está sob ameaça de extinção. Até o momento, não há consenso das causas desse declínio. [...] a revista científica **Science** publicou o mais abrangente estudo sobre o assunto já feito, e chegou a uma conclusão: a culpa é do aquecimento global.

O estudo analisou as abelhas do gênero *Bombus*, que são mais gordinhas e com mais pelos do que a abelha comum.

No Brasil, elas também são conhecidas como mamangaba ou mamangava. Essas abelhas têm grande importância ecológica, já que fazem o importante trabalho de polinização. Além disso, estão entre as principais espécies criadas para comercialização de mel e outros produtos no mundo. Foram analisadas 67 espécies diferentes de *Bombus*, nos Estados Unidos e na Europa. O objetivo era saber se o aumento das médias de temperatura da Terra – o aquecimento global – está por trás do desaparecimento das abelhas.

Em geral, cientistas e biólogos estão detectando uma expansão do “território”

das espécies causada pelas mudanças climáticas. Por exemplo, no Hemisfério Norte, espécies como as borboletas já estão sendo encontradas cada vez mais ao norte, buscando temperaturas mais amenas. O problema, detectado pelo estudo, é que isso não está ocorrendo com as abelhas. A pesquisa identificou que elas estão desaparecendo no sul, por não aguentar temperaturas mais altas, mas não estão indo para o norte. Ou seja, a distribuição natural das abelhas estudadas diminuiu.

[...]

CALIXTO, B. Aquecimento global é o principal fator do declínio das abelhas, diz estudo. **Época**, 9 jul. 2015. Disponível em: <<http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2015/07/aquecimento-global-e-o-principal-fator-do-declinio-das-abelhas-diz-estudo.html>>. Acesso em: mar. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler as notícias, responda:

1. O que torna as duas notícias incongruentes? Qual é a ideia central de cada uma delas?
2. Pelo que informa o primeiro texto, que efeito prejudicial os pesticidas exercem sobre as abelhas?
3. De acordo com o segundo texto, que relação existe entre aquecimento global e o território ocupado pelas abelhas?

► Mutualismo

Entre cnidários e algas, pode-se estabelecer uma relação indissociável e de benefício mútuo (**figura 3a**). As algas vivem nos tecidos dos corais, desfrutando de ambiente favorável e, por meio da fotossíntese, suprem os cnidários de matéria orgânica. Associação semelhante origina os líquens (**figura 3b**), interação entre algas (ou cianobactérias) e fungos. Os fungos protegem as algas e dão-lhes sustentação, água e sais minerais, criando condições para que elas realizem fotossíntese; a matéria orgânica sintetizada pelas algas (ou cianobactérias) é compartilhada com os fungos. Separados, esses fungos e algas não sobrevivem.

Estes são casos de **mutualismo**, relação ecológica em que as espécies se beneficiam reciprocamente, sendo a interação entre elas indispensável à sobrevivência dos associados. Nos casos de mutualismo, cada um dos associados supre o outro com recursos que não podem obter por si, e isso em geral envolve relações alimentares.

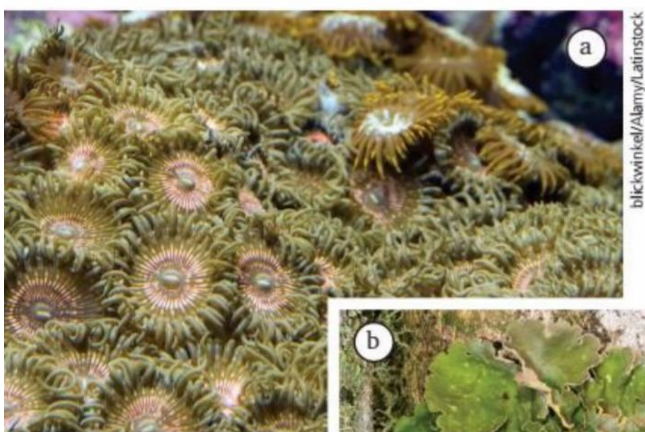


Figura 3. (a) A cor esverdeada desses cnidários reflete a presença de algas mutualísticas. (b) Aspecto macroscópico de líquens.

► Protocooperação

As garças-carrapateiras e os anus são aves que se alimentam de carrapatos que parasitam bovinos; embora aves e bovinos se beneficiem da relação, podem sobreviver uns sem os outros. Um caso semelhante envolve camarões do gênero *Lysmata* (**figura 4**), que removem parasitas externos do corpo dos peixes aos quais se associam. Os limpadores obtêm o alimento e os peixes diminuem o risco de infecções.

Esses são exemplos de **protocooperação**, uma relação entre espécies diferentes, com benefício para ambas, mas não indispensável para a sobrevivência delas.

Figura 4. Camarão limpador do gênero *Lysmata* limpando uma moreia-pintada (*Gymnothorax insengteena*).



► Comensalismo

No intestino humano, amebas da espécie *Entamoeba coli* obtêm restos alimentares e abrigo, sem prejudicar nem beneficiar a pessoa. Trata-se de um caso de **comensalismo**, relação ecológica em que só uma espécie é beneficiada, ao passo que a outra não é beneficiada nem prejudicada. O benefício obtido pode ser abrigo, suporte ou transporte.

Plantas como orquídeas e bromélias, denominadas **epífitas** (**figura 5a**), desenvolvem-se sobre árvores, beneficiando-se da posição favorável à captação de luz. As árvores que oferecem suporte não são beneficiadas nem prejudicadas. Esse tipo de comensalismo chama-se **inquilinismo**: um organismo de uma espécie oferece suporte para um organismo de outra espécie.

Outro caso de inquilinismo envolve o carrapicho (**figura 5b**), cujos frutos aderem à superfície do corpo de um animal e à pele e roupas de uma pessoa, sendo transportados para lugares distantes de onde foram gerados. Assim, o carrapicho garante a dispersão das sementes.

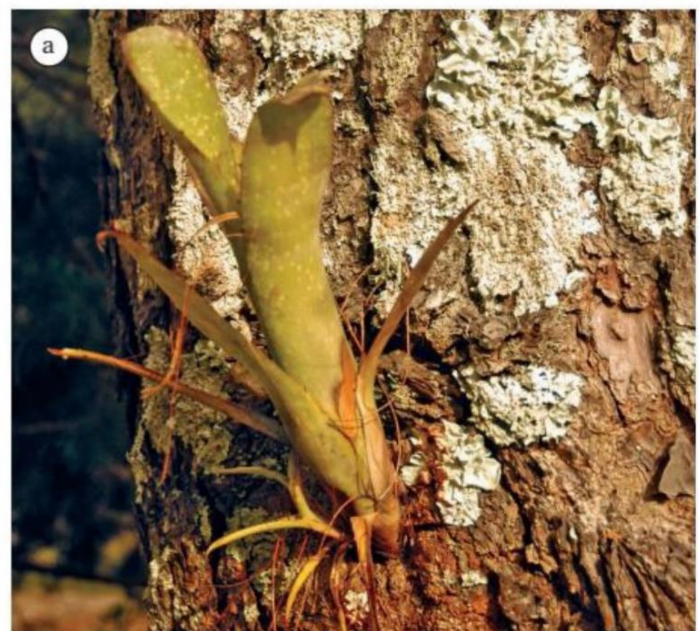


Figura 5. (a) As epífitas não são parasitas, apenas se desenvolvem sobre outras plantas. Na fotografia, bromélias aderidas a um tronco. (b) Os frutos do carrapicho (*Acanthospermum hispidum*) aderem ao pelo de animais e às vestes humanas, em um caso particular de inquilinismo denominado forésia, que consiste no transporte de uma espécie por outra.

► Relações desarmônicas

São as relações que representam prejuízo para pelo menos um dos indivíduos associados. As classificações mais recentes dividem as relações desarmônicas em dois tipos: aquelas em que nenhuma das espécies é beneficiada (competição e amensalismo) e aquelas em que uma é beneficiada e a outra não, as chamadas interações consumidor-recurso (parasitismo, predação e herbivoria).

► Competição

Quando se observa uma região de floresta ombrófila densa, como a Floresta Amazônica (figura 6) ou a Mata Atlântica, destacam-se árvores com 30 m ou 40 m de altura. O porte imponente reflete a disputa entre os membros da comunidade vegetal por um recurso fundamental para o crescimento e o desenvolvimento: a luz, necessária para a fotossíntese.

A **competição** — disputa por recursos ambientais (como água, alimento, espaço ou luz) — representa gasto de energia, e menos recursos ficam disponíveis para os participantes; por isso, é uma relação ecológica prejudicial para todos os envolvidos.

A completa sobreposição de nichos ecológicos só pode ocorrer entre seres da mesma espécie e caracteriza a **competição intra-específica**. Nichos ecológicos semelhantes, mas não idênticos, identificam a **competição interespecífica**, que acontece com indivíduos de espécies diferentes.



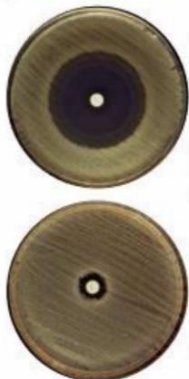
Figura 6. Dossel (conjunto das copas das árvores) de um trecho da Floresta Amazônica, no estado do Amazonas. As árvores mais altas se expõem mais à luz solar e aumentam a eficiência da fotossíntese.

► Amensalismo

Nos episódios conhecidos por **marés vermelhas**, certas algas produzem e eliminam na água toxinas que causam a morte de peixes e de outros animais. Analogamente, determinados microrganismos (como fungos e bactérias) produzem compostos (os **antibióticos**) que podem matar ou interromper o crescimento de populações de outros microrganismos. A penicilina (figura 7) é um exemplo: obtida de fungos do gênero *Penicillium*, pode ser empregada contra bactérias causadoras de doenças como pneumonia, sífilis e meningite.

As toxinas que são liberadas nas marés vermelhas e os antibióticos caracterizam o **amensalismo**, relação em que uma espécie libera compostos que impedem o desenvolvimento de outra espécie ou provocam sua morte.

Figura 7. Placas com bactérias: a de cima contém um disco central embebido em penicilina e, ao redor do disco, uma área onde não houve desenvolvimento de bactérias por causa do antibiótico; a de baixo tem o disco central embebido em água, funcionando como controle.



Segundo SMITH, R. L.; SMITH, T. M. **Ecology and Field Biology**. New York: Harper Collins, 2000, a classificação do amensalismo como interação em que nenhum dos participantes é beneficiado é "nebulosa". A liberação de substâncias que inibem o desenvolvimento de organismos de outras espécies pode representar algum benefício para a espécie liberadora, por reduzir a competição.

► Parasitismo

Carrapatos (figura 8a), piolhos e pulgas instalam-se na superfície do corpo de outros animais (geralmente, vertebrados). Já os vermes intestinais (figura 8b) vivem dentro do corpo de um animal de outra espécie.

Com apêndices bucais sugadores, os afídeos (ou pulgões, figura 8c) perfuram os vasos condutores de seiva de plantas das quais obtêm alimento. O cipó-chumbo (figura 8d) é uma planta aclorofilada, incapaz de realizar a fotossíntese; suas raízes sugadoras penetram nos vasos condutores de uma planta de outra espécie e dela também retiram seiva rica em matéria orgânica, como fazem os afídeos.

Todos esses são exemplos de **parasitismo**, uma associação em que uma espécie (**parasita**) vive à custa de alimento retirado do corpo de outra (**hospedeira**). O parasita pode prejudicar, mas geralmente não causa a morte imediata do hospedeiro, mantendo assim sua fonte de alimento e abrigo.

Carrapatos e piolhos são **ectoparasitas**, e os vermes intestinais são **endoparasitas**. A maioria dos endoparasitas apresenta adaptações morfológicas (como cutícula, ventosas e ganchos) que lhes permitem viver no interior dos hospedeiros.

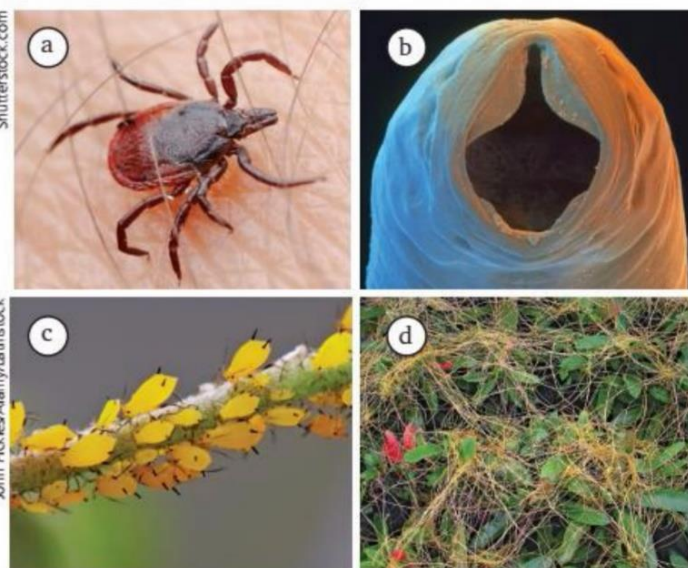


Figura 8. (a) Carrapato, um ectoparasita. (b) Boca de *Necator americanus* (micrografia eletrônica, aumento aproximado de 610 vezes; colorida artificialmente), um endoparasita, mostrando as placas orais com que perfura a mucosa intestinal. Carrapatos e *Necator* são hematófagos (alimentam-se de sangue). (c) Afídeos (*Aphis nerii*) parasitam o caule tenro de uma planta (*Asclepias* sp.). (d) O cipó-chumbo (*Cuscuta* sp.) é visto como cordões amarelos entrelaçados nas folhas da planta hospedeira.

Por extrair da planta hospedeira o alimento pronto, o cipó-chumbo é um holoparasita (ou parasita completo). A erva-de-passarinho (família Loranaceae) é um hemiparasita (ou parasita incompleto). Essa planta tem clorofila, faz fotossíntese e retira da planta parasitada seiva contendo apenas água e sais minerais.

O chupim (figura 9) é uma ave que não constrói ninho. A fêmea põe ovos no ninho de outros pássaros, desalojando os ovos do morador. Inadvertidamente, o casal proprietário do ninho choca o ovo do intruso e, depois da eclosão, cuida do filhote. Esse tipo peculiar de parasitismo chama-se **esclavagismo**, e o benefício obtido é o trabalho de outra espécie. A espécie "escravizada" gasta com o invasor parte da energia que utilizaria no cuidado com seus próprios filhotes.



Figura 9. Chupim macho (*Molothrus bonariensis*).

Predação

A suçuarana (onça-parda ou onça-vermelha) é um felino de hábitos solitários que se alimenta preferencialmente de mamíferos (cervídeos, roedores, lebres etc.). Sua dieta é diversificada e varia de acordo com o habitat, que abrange quase todo o continente americano, com destaque para a América do Sul (**figura 10**). Nas regiões em que há sobreposição de habitats, a suçuarana pode competir por alimentos com a onça-pintada (*Panthera onca*).

A relação ecológica entre a suçuarana e os animais que captura é de **predação**: um indivíduo de uma espécie (**predador**) mata um indivíduo de outra espécie (**presa**), para se alimentar.

Na predação intraespecífica (**canibalismo**), um indivíduo mata outro da mesma espécie e dele se alimenta. Ocorre, por exemplo, entre aranhas, escorpiões e louva-a-deus.



Figura 10. Suçuarana (*Puma concolor*, 1,5 a 2,75 m de comprimento) é um predador encontrado na maior parte do continente americano (áreas em laranja no mapa).

Professor, proponha como desafio uma competição entre grupos para a identificação do maior número de relações ecológicas na situação descrita no quadro abaixo.

(1) Garça-boiadeira e carrapato: predação; (2) carrapato e bovino: parasitismo; (3) garça-boiadeira e bovino: protozoário; (4) bovino e braquiária: herbivoria; (5) bovino e protozoários: mutualismo; (6) braquiária e bovino: inquilinismo (ou forésia); (7) braquiária e capim-pojuca: competição; (8) braquiária e capim-pojuca: amensalismo (ou antibiose).

Distribuição da suçuarana no continente americano



Fonte: GUIMARÃES, M. As rotas das suçuaranas. *Revista Fapesp*, n. 199, set. 2012.

Herbivoria

Diferentemente dos organismos que se locomovem e podem se esconder, escapar e defender-se ativamente, as plantas geralmente são fixas e permanecem expostas, vulneráveis ao ataque de consumidores. Todavia, observam-se estratégias de defesa das plantas, como espinhos e toxinas, capazes de deter os consumidores, uma vez que estes podem reduzir e até dizimar populações inteiras de determinadas espécies vegetais. A relação entre os animais e as plantas que lhes servem de alimento chama-se **herbivoria**.

Dependendo do tipo de dano causado à planta (em partes ou no todo), o herbívoro pode ser considerado um predador ou um parasita. O consumo de apenas parte dos tecidos de uma planta é denominado **pastagem** (geralmente são consumidas grandes áreas de gramíneas e vegetações rasteiras de herbáceas) ou **desfolhação** (as partes consumidas são de vegetação lenhosa e correspondem principalmente às folhas e aos ramos, sem a retirada dos troncos).

Um mundo de interações

No Brasil, a braquiária (gênero *Brachiaria*), gramínea de origem africana, é utilizada em pastagens e atua como invasora, ocupando vários ambientes (como os Cerrados). Substâncias liberadas no solo pela braquiária impedem a germinação de sementes de espécies nativas, como o capim-pojuca (*Paspalum atratum*). Bovinos alimentam-se das folhas da braquiária, que, no estômago dos animais, sofrem a ação de microrganismos (protozoários e bactérias, principalmente) que digerem a celulose. Parte do produto da digestão é assimilada pelos microrganismos e parte é disponibilizada para o animal. Quando os bovinos forrageiam, sementes de braquiária aderem-se aos lábios e ao focinho dos animais e podem ser transportadas por longas distâncias. Carrapatos instalam-se na superfície do corpo dos bovinos e sugam-lhe o sangue. Garças-boiadeiras (*Bubulcus ibis*) alimentam-se desses ácaros, que retiram da pele dos bovinos.



Nesta situação podem ser observadas diferentes interações entre espécies.

Gerson Sobreira/Ferastock

Disfarces, imitações e outros artifícios

Muitos seres vivos têm estratégias de disfarce que permitem escapar do ataque de predadores ou se aproximar de suas presas sem que sejam notados. Essa tática pode representar um disfarce em relação ao ambiente ou um padrão imitativo em relação a outros seres vivos. As adaptações podem ocorrer por meio de defesas químicas e físicas.

► Camuflagem

Trata-se de semelhança de cor ou de forma entre um ser vivo e seu ambiente. O camaleão (**figura 12a**), por exemplo, altera a pigmentação de sua pele de acordo com a coloração do ambiente. A semelhança do bicho-pau com um graveto dificulta a atuação dos predadores, assim como o que se verifica em insetos com formas semelhantes às de folhas (**figura 12b**).



Glenn Bartley/All Canada Photos/Keystone

Figura 11. Observe a fotografia acima com bastante atenção. Você conseguiu identificar uma ave? Ela se chama urutau (*Nyctibius griseus*, 40 cm de comprimento), tem hábitos noturnos, alimenta-se preferencialmente de insetos e é conhecida, em algumas regiões do Brasil, como mãe-da-lua ou ave-fantasma. Suas características mais marcantes são a cor da plumagem e a postura quase imóvel, que garantem eficiente camuflagem, misturando-se com a paisagem e sendo confundida com um galho seco.



Ramón Navarro/Easyptk



Chris Mattison/naturepl.com/Other Images

Figura 12. (a) Camaleão (*Chamaeleo chamaeleon*, 25 cm de comprimento) e (b) bicho-folha (*Phyllium* sp., 7 cm de comprimento).

► Mimetismo

Ocorre mimetismo quando um organismo apresenta padrão imitativo em relação a outro organismo, obtendo de alguma forma vantagens com a semelhança. Certas borboletas assemelham-se a outras de sabor desagradável, sendo ambas evitadas por pássaros predadores, com nítido benefício para as imitadoras. É o caso das borboletas vice-rei (**figura 13a**), que apresentam um padrão de coloração semelhante ao da borboleta-monarca (*Danaus plexippus*) (**figura 13b**), que é altamente tóxica.



Doug Wechsler/naturepl.com/Other Images



Sari O'Neal/Shutterstock.com

Figura 13. (a) Borboleta vice-rei (*Limenitis archippus*) e (b) borboleta-monarca (*Danaus plexippus*) (borboletas, 7 cm de envergadura).



Calvin & Hobbes, Bill Watterson © 1987 Watterson/Dist. by Universal Uclick

A partir da leitura da tirinha, proponha aos alunos a seguinte questão: A tática usada pelo personagem Calvin para escapar da mãe é semelhante à estratégia do urutau ou à da borboleta vice-rei? Justifique.

► Outras estratégias de defesa

As formas pelas quais as presas devem evitar a predação são tão diversas quanto as táticas de caça dos predadores. Muitos animais adotam comportamentos crípticos e buscam refúgios como meio de evitar o ataque; outros têm defesas físicas, como os espinhos no corpo do porco-espinho (**figura 14a**), ou defesas químicas, como os besouros-bombardeiros, que borrifam um líquido nocivo quando se sentem ameaçados (**figura 14b**).

Uma das grandes batalhas travadas, como meio de evitar o ataque de seus consumidores, está entre plantas e herbívoros. Entre essas defesas incluem-se aquelas que constituem barreiras químicas (como a produção de compostos que têm efeitos tóxicos ou de pouca digestibilidade nos herbívoros) e físicas (como a presença de espinhos, pelos e cutícula). Por outro lado, assim como as plantas desenvolveram meios de evitar o ataque dos herbívoros, alguns desses se especializaram em eliminar de seu organismo compostos tóxicos de algumas espécies de plantas.



Luiz Claudio Marigo/naturepl.com/Otherimages



Satoshi Kurbayashi/Nature Production/Minden Pictures/Latinstock

Figura 14. (a) Espinhos presentes no porco-espinho (*Coendou prehensilis*, 45 cm de comprimento) são defesas físicas naturais contra predadores, assim como (b) o jato de líquido expelido pelo besouro-bombardeiro (*Pheropsophus jessoensis*, 14 mm de comprimento).

Sucessão ecológica

Na manhã de 18 de maio de 1980, uma violenta erupção vulcânica, acompanhada de terremotos e derramamento de lava, fez explodir o monte Santa Helena, no estado de Washington (EUA). Plantas e animais desapareceram do local, que adquiriu aparência desolada e desprovida de formas de vida (**figura 15a**). Para surpresa dos biólogos que passaram a estudar a região, menos de quatro anos depois já existia uma comunidade, constituída de centenas de espécies de plantas e de animais (**figura 15b**), sendo um exemplo de **sucessão ecológica**, que pode ser definida como uma sequência de mudanças na composição das comunidades que ocorrem logo após perturbações no ambiente.



Gary Braasch/CORBIS/Latinstock



Tom Uhlman/Alamy/Latinstock

Figura 15. Sucessão ecológica no monte Santa Helena: (a) em 1980, a erupção desse vulcão destruiu completamente a vegetação em uma área de 20 mil hectares; ocorreu uma sequência de alterações na composição das comunidades, culminando com a formação de uma comunidade relativamente estável, em equilíbrio com o ambiente. Na fotografia (b), troncos de árvore com marcas da erupção devastadora já cercados por vegetação secundária.

Uma comunidade pode ocupar uma região onde antes não havia seres vivos nem solo, dando início a uma **sucessão primária**, que pode acontecer, por exemplo, sobre uma rocha nua ou uma duna de areia (**figura 16**). Esse processo pode ser dividido em três fases descritas a seguir:

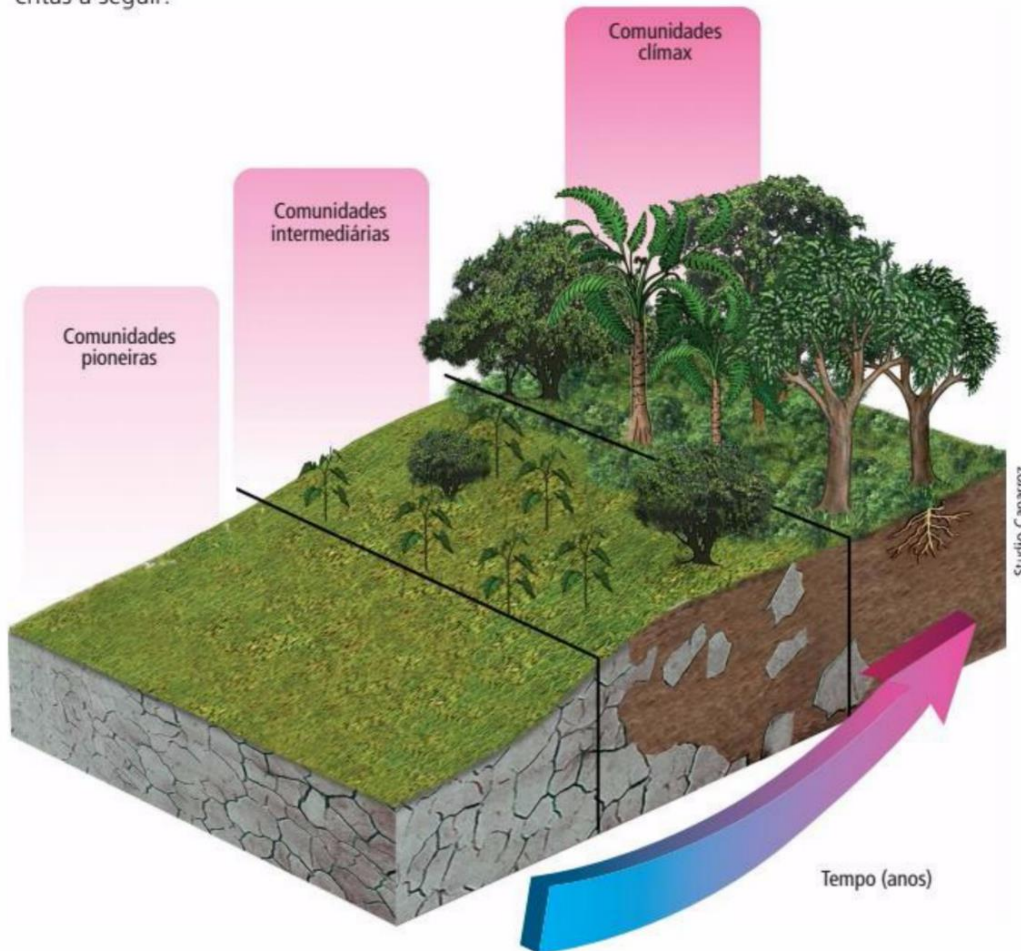


Figura 16. Representação esquemática de sucessão ecológica, mostrando as alterações ao longo do tempo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- **Comunidades pioneiras.** Nas condições inóspitas da superfície de uma rocha nua, poucos seres vivos conseguem sobreviver. Alguns, como os líquens, podem instalar-se sobre ela, produzindo ácidos que lentamente a corroem, iniciando a formação do solo. A partir de então, as condições ambientais deixam de ser tão adversas, possibilitando o desenvolvimento de outras comunidades. As comunidades pioneiras (em geral, formadas por líquens, musgos ou gramíneas) toleram condições desfavoráveis e modificam o ambiente, permitindo o desenvolvimento de outras que se sucedem.
- **Comunidades intermediárias.** Sobre a rocha, agora com uma camada de solo, desenvolve-se uma comunidade de transição, que inclui alguns tipos de plantas, como samambaias e arbustos. Em tal fase, nota-se progressivo aumento da diversidade biológica e do número de nichos ecológicos.
- **Comunidades clímax.** A comunidade, que conta com grande número de espécies, entra em equilíbrio com o ambiente, permanecendo relativamente estável.

Diversos aspectos dos ambientes estão sujeitos a variações: luminosidade, umidade, intensidade e direção dos ventos, temperatura, disponibilidade de nutrientes minerais, acidez, entre outros. Tais variações influenciam o tipo de vegetação e, consequentemente, as populações de animais e de outros seres vivos que se desenvolvem nesses ambientes.

Em uma sucessão ecológica, esses aspectos determinam o tipo de comunidade clímax que irá se instalar no local. Os desertos, por exemplo, têm em comum a escassez de água e, em consequência, vida vegetal pobre, que limita o desenvolvimento de animais. As florestas pluviais tropicais, por sua vez, exibem índices pluviométricos elevados, e o clima favorece o desenvolvimento de vegetação e de outros seres vivos: a Floresta Amazônica e a Mata Atlântica são exemplos desse tipo de paisagem natural, que pode ser encontrada em vários lugares do mundo, recoberta com vegetação semelhante.

Nas sucessões ecológicas, ocorre aumento do número de espécies e da biomassa. O nítido crescimento da quantidade de matéria orgânica é comprovado pelo aumento da comunidade vegetal. Na comunidade clímax, a biomassa torna-se estável porque a comunidade consome praticamente tudo o que produz.

Os diferentes tipos de rochas e substratos podem ser mais ou menos favoráveis ao desenvolvimento de comunidades pioneiras. Rochas magmáticas e rochas sedimentares, por exemplo, têm comportamentos distintos diante do intemperismo e da erosão. A interação com o professor de Geografia pode enriquecer essa discussão.

1. (UFPEL-RS)

Na natureza, as espécies mantêm constantes relações entre si, exercendo, assim, influências recíprocas em suas vidas. A seguir, temos uma situação que ilustra bem esse tipo de relação. A “acácia-de-chifre-de-búfalo” (*Acacia cornigera*) tem grandes espinhos como chifres, com uma cobertura vegetal dura recheada por um interior macio. Para iniciar uma colônia na acácia, uma formiga rainha da espécie *Pseudomyrmex ferruginea* cava um buraco na base de um dos grandes espinhos e retira um pouco do material macio de dentro para abrir espaço para a sua ninhada. Além de alojar as formigas, as acácias proporcionam alimento para elas em néctares na base das folhas e na forma de nódulos de corpos de Beltian, na ponta de algumas folhas. À medida que o formigueiro cresce, mais e mais espinhos da planta são preenchidos; em troca as formigas protegem a planta de outros insetos pragas. A relação entre *Pseudomyrmex* e a *Acacia* é obrigatória: nem as formigas nem as acácias podem sobreviver umas sem as outras.

RICKLEFS, R. 1996. *A Economia da Natureza*. 3 ed. Guanabara Koogan S.A.: Rio de Janeiro. 470 p.

Com base no texto e em seus conhecimentos, responda:

- Qual a relação ecológica existente entre as espécies *Acacia cornigera* e *Pseudomyrmex ferruginea*? Justifique sua resposta.
 - Os indivíduos de *Pseudomyrmex ferruginea* constituem uma colônia ou uma sociedade? Justifique sua resposta.
 - Sabendo-se que, em um ecossistema, existem componentes bióticos e abióticos, qual das espécies mencionadas é considerada um organismo autótrofo e qual é heterótrofo?
2. (Unicamp-SP) Que tipos de associações entre organismos podem ser identificados nas frases abaixo?
- No estômago dos ruminantes existem microrganismos que digerem celulose.
 - Dentro do tubo de alguns poliquetos vivem pequenos crustáceos que retiram alimento da água que circula pelo tubo.
 - A criação de gado bovino nas savanas africanas prejudica rebanhos de herbívoros nativos.
 - Os pulgões retiram seiva elaborada das plantas, e o excesso de açúcar é eliminado com suas fezes, que servem de alimento às formigas que os protegem.
3. (Fuvest-SP)
- Apesar de o predatismo ser descrito como uma interação positiva para o predador e negativa para a presa, pode-se afirmar que os predadores têm um efeito positivo sobre a população de presas. Explique como uma população de presas pode ser beneficiada por seus predadores.
 - Alguns ecologistas consideram os herbívoros comedores de sementes como predadores das populações de plantas que lhes fornecem alimento. Já os herbívoros que se alimentam apenas de folhas são considerados parasitas das plantas que comem. Justifique essas classificações.
4. (Fuvest-SP) As mariposas da espécie *Diatraea saccharalis* colocam seus ovos na parte inferior de folhas de cana-de-açúcar. Esses ovos desenvolvem-se em larvas que penetram no caule e se alimentam do parênquima ali presente. As galerias feitas por essas larvas servem de porta de entrada para fungos da espécie *Colleotrichum falcatum*. Esses fungos alimentam-se da sacarose armazenada no caule. As usinas de açúcar e álcool combatem as mariposas, liberando pequenas vespas (*Cofesia flavipes*), cujos ovos são depositados sobre as larvas das mariposas. Quando os ovos eclodem, as larvas da vespa passam a se alimentar das larvas da mariposa.
- Com base nas informações contidas no texto, indique os organismos que ocupam os seguintes níveis tróficos: produtor, consumidor primário, consumidor secundário.
 - Dentre as interações descritas nesse texto, indique uma que você classificaria como parasitismo, justificando sua resposta.
5. À sombra de uma árvore, um boi alimenta-se de capim e, ao mesmo tempo, tem o sangue sugado por carrapatos que se alojam na superfície do seu corpo. Esses carrapatos, por sua vez, servem de alimento a certas aves que pousam sobre o dorso dos bois.
- Cite as interações populacionais entre o boi e o capim, entre o boi e o carrapato, entre o carrapato e as aves e entre as aves e o boi.
 - Indique três organismos que, ao fazerem uso de uma mesma árvore, podem nela estabelecer, entre si ou com outros seres quaisquer, relações de predação, parasitismo ou mutualismo.
6. (UFMG) Observa-se que as bananeiras inibem o crescimento de outras espécies de vegetais plantadas próximo a elas. Para verificar se essa inibição é provocada por uma substância liberada pelas bananeiras, o melhor procedimento será:
- comparar o crescimento das outras espécies em cultivos com e sem aplicação de extrato de bananeiras.
 - analisar quimicamente extratos de bananeiras e de outras espécies.
 - comparar o crescimento das outras espécies cultivadas com extratos de bananeiras, em diferentes temperaturas.
 - comparar o crescimento das outras espécies cultivadas com extrato de bananeiras, em ambiente com a mesma intensidade luminosa.
7. (Unicamp-SP) Ao estudar os animais de uma mata, pesquisadores encontraram borboletas cuja coloração se confundia com a dos troncos em que pousavam mais frequentemente, louva-a-deus e mariposas que se assemelhavam a folhas secas e bichos-pau semelhantes a gravetos. Observaram que muitas moscas e mariposas assemelhavam-se morfológicamente a vespas e a abelhas e notaram ainda a existência de sapos, cobras e borboletas com coloração intensa, variando entre vermelho, laranja e amarelo.
- No relato dos pesquisadores estão descritos alguns exemplos de adaptações por eles caracterizadas como mimetismo e camuflagem. Identifique no texto um exemplo de camuflagem. Explique uma vantagem dessas adaptações para os animais.
 - No texto são citados vários animais, entre eles sapos e cobras. Esses animais pertencem a grupos de vertebrados que apresentam diferenças relacionadas com a reprodução. Indique duas dessas diferenças.
8. (Fuvest-SP) Considere dois estágios — X e Y — de um processo de sucessão ecológica. No estágio X, há maior biomassa e maior variedade de nichos ecológicos. No estágio Y, há maior concentração de espécies pioneiras e a comunidade está sujeita a variações mais intensas.
- Qual dos dois estágios representa uma comunidade clímax?
 - Em qual dos estágios há maior biodiversidade? Justifique sua resposta.
 - Descreva o balanço entre a incorporação e a liberação de carbono nos estágios X e Y.

Consumo colaborativo: a revolução silenciosa

Nova prática de trocas entre pessoas é feita pela internet e pode gerar economia e menos danos ao meio ambiente

Por Vinicius Abbate

O consumo colaborativo pode ser entendido como uma rápida mudança na forma de se realizarem trocas, partilhas, empréstimos, aluguéis e no modo de se presentear as pessoas, reinventando a prática do escambo por meio de tecnologias de rede, como a internet, em escala jamais vista antes. Recentemente, foi considerado pela revista estadunidense **Time** como uma das dez ideias que vão mudar o mundo. É inspirado nas principais tendências do início do século XXI, decorrentes das novas relações sociais difundidas pelo uso cada vez mais amplo da *web* e das possibilidades de relacionamento em rede, além da preocupação com o meio ambiente e a consciência coletiva voltada para práticas sustentáveis.

Poder ter acesso ao que se deseja apenas pelo tempo em que isso é realmente necessário é uma atitude mais dinâmica do que estabelecer compromissos e arcar com responsabilidades a longo prazo. Esse tipo de consumo baseado no compartilhamento agrega valor à experiência em detrimento do sentimento de posse, de simplesmente “ter”.

Alguns analistas dizem que o consumo colaborativo é uma recriação do escambo, atividade típica do feudalismo dos séculos X e XI — tratava-se da troca de mercadorias umas pelas outras, sem a intermediação do dinheiro, porque a economia ainda não estava monetizada. Essa “releitura” pós-moderna da prática medieval surgiu nos Estados Unidos há cerca de dez anos, como alternativa ao modelo hiperconsumista que marcou a sociedade estadunidense desde os anos 1980.

Um exemplo que se costuma citar para sugerir as vantagens do consumo colaborativo: existem mais de 50 milhões de furadeiras no mercado estadunidense e, em média, cada uma delas é usada apenas de 6 a 13 minutos em toda a sua vida útil.

A prática da troca virtual poderia, portanto, reduzir contrastes como esse. Esse tipo de prática está modificando os negócios e reinventando não apenas o que é consumir, mas como as pessoas ao redor do mundo consomem. No Brasil a primeira iniciativa de consumo colaborativo no país foi lançada em julho de 2011: um portal que oferece aos usuários uma plataforma de trocas, com o propósito de unir quem tem um objeto a emprestar a quem precisa de alguma coisa. Em outro *site* dessa natureza, a proposta é que os produtos sejam usados por um maior número de pessoas, prolongando sua vida útil. Os portais também dispõem de ferramenta de trocas de produtos de cunho cultural — como livros, CDs, DVDs e jogos eletrônicos —, o que amplia sua atuação e aumenta as possibilidades de realização de negócios colaborativos pelos usuários.

A prática do consumo colaborativo também se ajusta às atuais demandas da sociedade por ações sustentáveis. O empréstimo de produtos diminui a necessidade de compra, o que se reflete na redução da busca por novas matérias-primas. Além disso, o acesso aos bens também é um benefício social que pode trazer ganhos reais à população no futuro.

O surgimento desse novo tipo de comércio está diretamente relacionado à preocupação com o meio ambiente e à preferência por atitudes mais sustentáveis, que atendam aos consumidores sem causar maiores impactos à natureza. Por meio do consumo colaborativo, tem-se acesso a uma maior gama de produtos sem que seja preciso aumentar a produção destes. Os produtos, uma vez vendidos, são compartilhados, reutilizados, passam a pertencer a uma coletividade e não apenas a um indivíduo. É uma prática que pode trazer ganhos à economia e estimular mudanças na condução dos negócios e no posicionamento das empresas. Trata-se, em suma, de uma revolução silenciosa.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. O que há de comum entre o escambo da Idade Média e o consumo colaborativo moderno?
2. Qual é a relação entre essa nova forma de trocar mercadorias com a proteção ao meio ambiente e a preferência por atitudes mais sustentáveis?

Populações

A dinâmica da espécie

Viajando pelo espaço com 7,3 bilhões a bordo

O bonde passa cheio de pernas:
pernas brancas pretas amarelas.
Para que tanta perna, meu Deus, per-
gunta meu coração.
Porém meus olhos
não perguntaram nada.

Poema de sete faces
ANDRADE, C. D. *Alguma poesia*. Belo Horizonte:
Edições Pindorama, 1930.

Quando o tema “população” vem à tona, imediatamente as atenções se voltam para fatos comuns em nosso dia a dia, como o crescimento do número de pessoas, os índices que medem a qualidade de vida, as mudanças nas categorias demográficas, os agravos ambientais e suas consequências.

A população humana atingiu seu primeiro bilhão por volta de 1804. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), em julho de 2015, ultrapassamos a marca de 7,3 bilhões de pessoas vivendo neste planeta. Quando nascerá o bebê de número 8 bilhões? Em que ritmo a população mundial vem aumentando? Que população humana a Terra poderá sustentar?

No Brasil, entre 1980 e 2015, a mortalidade infantil caiu de 70 para menos de 14 mortes por mil nascimentos, e a esperança de vida ao nascer saltou de 62 para mais de 75 anos. Algumas explicações para esses avanços estão no aumento da renda média, do saneamento básico, do atendimento à saúde e dos programas de vacinação. No mesmo período, analisando os hábitos e o estilo de vida que a população de muitos países vem adotando, vemos que a demanda por energia e recursos não para de crescer e que as reservas naturais são consumidas em ritmo muito superior à capacidade de reposição. Somos

eficientes ao explorar recursos, mas ineficientes ao lidar com os resíduos que geramos. Desmatamos, pescamos e utilizamos minérios e combustíveis fósseis em excesso. Poluímos a atmosfera, as águas e o solo, provocamos aquecimento global, chuvas ácidas, redução da biodiversidade, perda de fertilidade das terras e degradação estética das paisagens.

Apesar dos recentes avanços do conhecimento científico, muitas questões continuam sem resposta. Por que os países não conseguem garantir acesso a água tratada e alimento farto, barato e de qualidade a toda a população? Por que doenças infectocontagiosas continuam a matar milhões de pessoas, especialmente nos países pobres? Por que os modernos recursos da medicina não estão acessíveis a todos? Por que a melhoria da renda da população aumenta a incidência de obesidade, de doenças degenerativas e de algumas formas de câncer?

É possível garantir qualidade de vida sem degradar os ecossistemas? Podemos obter energia sem comprometer o ambiente? Todos têm acesso à educação e ao lazer? Todos têm respeitados seus direitos reprodutivos, que permitem decidir ter ou não filhos? Como a moderna biotecnologia afeta nossa vida? Clonagem, nanotecnologia, pesquisas com células-tronco e o cultivo de plantas transgênicas devem ser permitidos? O que fazer com os embriões descartados em clínicas de reprodução assistida?

De maneira isolada, nenhuma ciência responde a essas perguntas, mas todas — inclusive a Biologia — desempenham papel importante na solução dessas questões essenciais, relacionadas com as necessidades humanas.



Em julho de 2015, a população da Terra atingiu 7,3 bilhões de pessoas. De fato, é um mundo de gente! Na foto, estação de metrô em São Paulo, SP, 2016.



Mint Images Limited/Alamy/Latinstock

Figura 1. Apesar das evidentes semelhanças, há diversidade genética entre os indivíduos desse grupo. Na fotografia, periquitos-de-cabeça-preta (*Aratinga nenday*, 30 cm de comprimento) no Pantanal Mato-Grossense (MS).

Uma **população** não se trata apenas de um aglomerado de indivíduos, mas de uma entidade biológica com características próprias: é um conjunto de indivíduos da mesma espécie que vivem em um mesmo espaço, no mesmo intervalo de tempo (**figura 1**). A inclusão do tempo na definição é importante porque a população pode sofrer alterações significativas.

As populações podem ser vistas como subunidades de uma espécie, uma vez que organismos da mesma espécie normalmente são encontrados em vários lugares diferentes. As Matas de Araucária, por exemplo, espalham-se por várias regiões do Brasil, do Rio Grande do Sul a Minas Gerais, principalmente em locais de temperatura média anual amena. Constituem, portanto, diversas populações (**figura 2**).



Figura 2. Matas de Araucária (a) em Itamonte, Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais, e (b) em Campos do Jordão, na Serra da Mantiqueira, em São Paulo, constituem diferentes populações. (c) A população humana da praia de Ipanema, no Rio de Janeiro (RJ), atualmente (2014) é muito diferente daquela existente (d) entre 1900 e 1930.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2015 o Brasil alcançou 205 milhões de habitantes, em uma área de 8 514 000 km². Portanto, em média, há 24,1 pessoas por quilômetro quadrado do território nacional. Esse indicador é chamado **densidade populacional** (também chamado de densidade demográfica ou população relativa).

A densidade populacional pode ser expressa em número de indivíduos por unidade de área ou por unidade de volume. Por exemplo, em certa área de pastagem, podem ser encontradas quatro codornas por hectare; em um aquário, pode haver três peixes por metro cúbico de água.

Determinados fatores aumentam ou diminuem a densidade das populações. Os que tendem a aumentar a densidade são a **natalidade** (nascimento de indivíduos) e a **imigração** (entrada de indivíduos na população); por sua vez, a **mortalidade** (morte de indivíduos) e a **emigração** (saída de indivíduos da população) contribuem para diminuir a densidade populacional.

► **Migração** é a movimentação direcional e em massa dos indivíduos, de um local a outro.

Consideremos dois campos nas mesmas condições. Em um deles, é colocado um casal de coelhos; no outro, um touro e uma vaca. Consideremos ainda que nenhum fator se opõe ao crescimento das populações desses animais. No campo ocupado pelos coelhos, deverá surgir maior número de descendentes por unidade de tempo, pois eles se reproduzem mais rapidamente. Dizemos que os coelhos têm maior **potencial biótico**, que é a capacidade de reprodução de uma espécie, em um ambiente que não impõe dificuldades ao desenvolvimento.

O crescimento de uma população depende de sua capacidade de reprodução e de seu relacionamento com o ambiente, que é, ao mesmo tempo, provedor de recursos (alimento, água e abrigo) e opositor ao desenvolvimento.

O crescimento natural das populações é limitado por fatores ambientais que dificultam a sobrevivência e a reprodução dos indivíduos. Em conjunto, esses fatores (o clima desfavorável, a pequena disponibilidade de alimentos, de água e de espaço, e relações biológicas negativas, como parasitismo, predatismo e competição) constituem a **resistência ambiental**.

► Crescimento populacional

As populações que crescem livres da resistência ambiental são populações não controladas; aquelas cujo crescimento é influenciado pela resistência ambiental são populações controladas.

- **População não controlada.** Bactérias, por exemplo, podem se desenvolver em laboratório, nos meios de cultura, em circunstâncias próximas das ideais, ou seja, com alimento abundante, temperatura adequada, remoção contínua de resíduos e ausência de inimigos naturais (**figura 3a**). Nessas condições, as bactérias reproduzem-se aproximadamente a cada 20 minutos, dobrando sua população. Essa intensa reprodução caracteriza um crescimento exponencial, que pode ser representado graficamente (**figura 3b**).
- **População controlada.** Em condições naturais, no entanto, a reprodução das bactérias geralmente é dificultada por fatores ambientais, como inimigos naturais, temperatura inadequada, escassez de água, de alimento ou de espaço e acumulação de resíduos. O crescimento real da população, que depende de seu potencial biótico em oposição à resistência ambiental, pode ser representado graficamente por uma curva sigmoide, ou seja, com forma de S (**figura 4**).

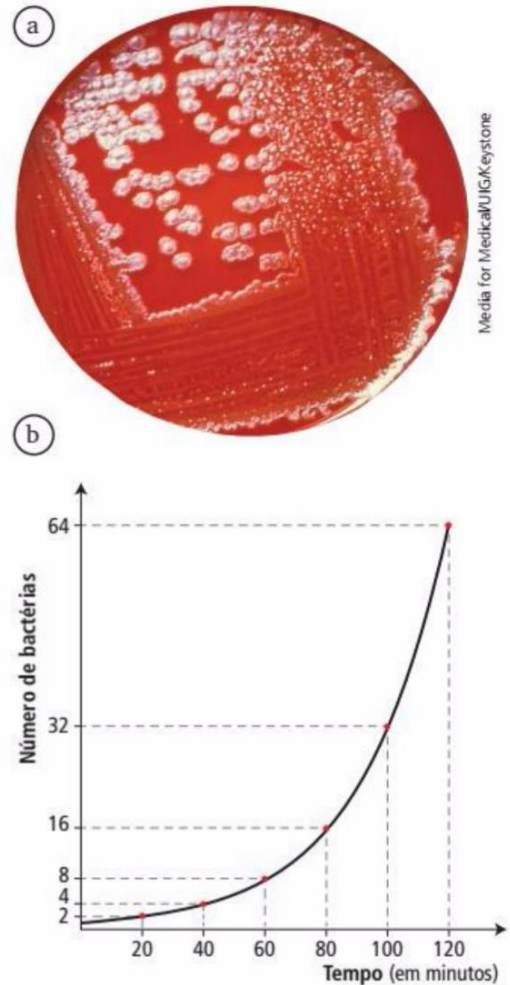
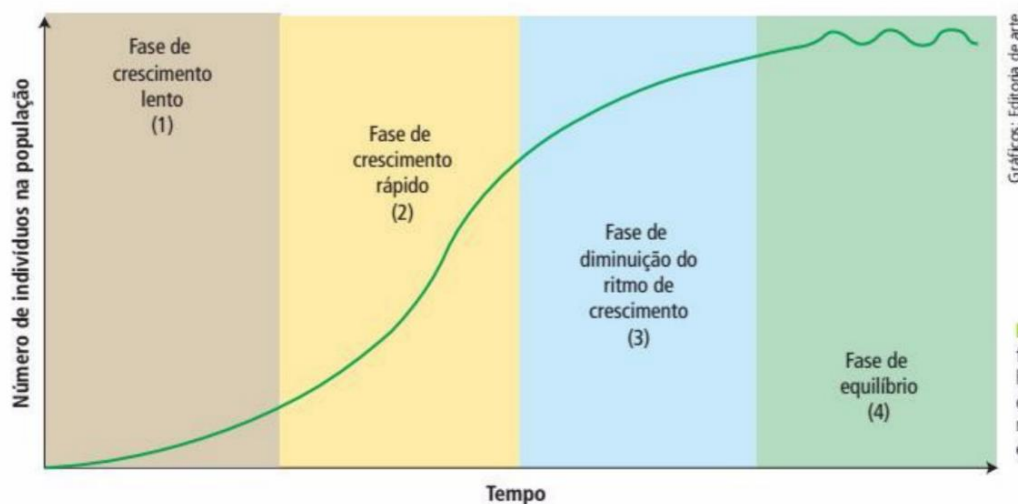


Figura 3. (a) Cultura de bactérias da espécie *Bacillus anthracis* em meio contendo ágar e sangue de ovelha. As manchas claras sobre o meio da cultura correspondem às colônias em desenvolvimento. (b) Crescimento hipotético de uma colônia de bactérias em meio de cultura abundante.



Gráficos: Editora de arte

Figura 4. O gráfico mostra o perfil das fases do crescimento de uma população hipotética. A resistência ambiental desacelera o crescimento populacional e, na fase de equilíbrio, ocorrem pequenas oscilações.

Analisando-se o crescimento de uma população, notam-se quatro fases distintas:

- (1) Fase de crescimento lento: é o período inicial de adaptação da população às condições do ambiente;
- (2) Fase de crescimento rápido: já adaptada, a população apresenta crescimento exponencial;
- (3) Fase de redução do ritmo de crescimento: terminada a fase anterior, manifesta-se mais nitidamente a **resistência ambiental**, e a velocidade de crescimento diminui;
- (4) Fase de equilíbrio: quando o número de indivíduos apresenta pequenas oscilações. A população alcança a **capacidade de carga do ambiente**, isto é, o número máximo de indivíduos que o ambiente pode manter.

Uma população aumenta quando tem alimento abundante; inversamente, a escassez de alimento reduz o número de indivíduos por emigração, aumento da mortalidade e redução da natalidade. Fatores climáticos (variações extremas de temperatura, secas e enchentes) podem afetar as populações direta ou indiretamente, comprometendo a fotossíntese e a produção de alimentos. Embora prejudiciais para pelo menos uma das espécies, as relações biológicas negativas (competição, parasitismo, predatismo, entre outras) impedem que as populações cresçam demasiadamente, esgotando recursos ou acumulando resíduos que poderiam prejudicar seu próprio desenvolvimento.

Quando a população de presas está grande, os predadores têm maior oferta de alimento, podendo viver mais tempo e gerar mais descendentes. Em razão do aumento da população de predadores, ocorre a diminuição da população de presas. Os predadores passam então a ter mais dificuldade de obter alimento e sua população diminui. Menos atacada pelos predadores, a população de presas aumenta, reiniciando outro ciclo de expansão (**figura 5**).

Segundo o **princípio de exclusão competitiva**, duas espécies não podem coexistir indefinidamente com um mesmo recurso limitante. Os experimentos clássicos do biólogo russo G. F. Gause, com protozoários das espécies *Paramecium aurelia* e *P. caudatum*, demonstraram que, após várias gerações, disputando o mesmo recurso, uma das espécies era eliminada do meio e a outra permanecia, ao passo que, em separado, ambas sobreviviam.

O crescimento das populações pode ser comprometido pela disponibilidade de espaço. Em criações de laboratório, com muitos ratos confinados em espaço restrito, mas com alimento abundante, verificam-se aumento da tensão, distúrbios de comportamento, elevação da mortalidade e diminuição da natalidade. A mortalidade pode ser causada por violentas disputas, abandono de filhotes e canibalismo; a natalidade diminui porque as fêmeas deixam de entrar no cio (período fértil) por causa de alterações hormonais provocadas pelo estresse da superpopulação.

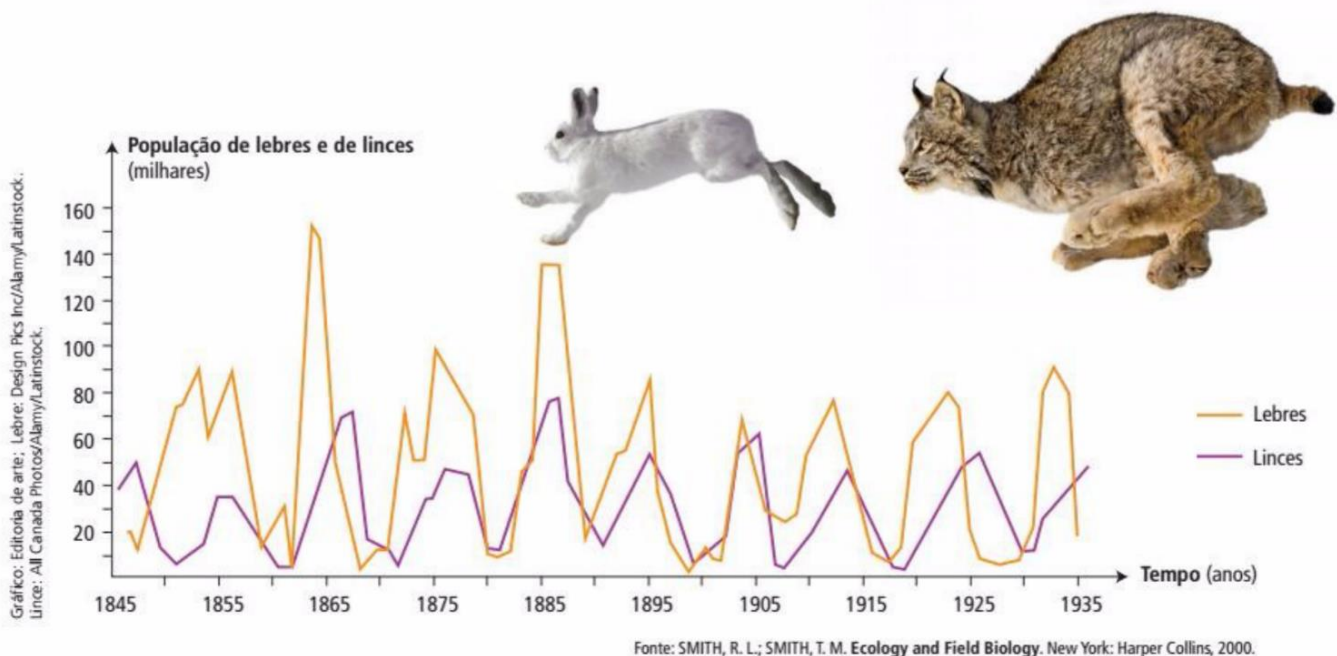


Figura 5. O número de presas (lebres) é, em média, maior que o de predadores (linces), refletindo a diferença entre os potenciais bióticos das populações. Ocorrem variações periódicas e sincronizadas das duas populações, revelando a existência de um controle mútuo. (Imagens sem escala.)

► Dispersão populacional

A **dispersão** pode ser caracterizada como a movimentação dos indivíduos dentro da população, desde seu nascimento até a morte. Indivíduos de uma população podem deslocar-se para outras regiões. Em geral, a emigração é determinada por fatores locais desfavoráveis, como escassez de alimento e de espaço, e condições climáticas adversas; por outro lado, a imigração revela que um ambiente pode oferecer condições mais favoráveis em termos de alimento, espaço ou clima.

Existem espécies que apresentam deslocamentos regulares chamados migrações: saem de uma região, dirigem-se a outra e retornam à origem, em rotas bem conhecidas, o que envolve locais de obtenção de alimento, repouso, acasalamento, cuidados com os filhotes etc. (**figura 6**). Esse comportamento migratório é geneticamente determinado, ou seja, não é aprendido.



Figura 6. (a) A seleção natural em ação: somente as piraputangas (*Brycon microlepis*, 40 cm de comprimento) que atingirem as nascentes dos rios, vencendo predadores e outros obstáculos, em sua migração, transmitirão seus genes para as futuras gerações. (b) Certas espécies de aves, como o maçarico-solitário (*Tringa solitaria*, 19 cm de comprimento), apresentam comportamento migratório característico: nas estações frias, deslocam-se em grandes bandos e vencem longas distâncias, desde a América do Norte até a Argentina e o Uruguai, fazendo paradas para descanso e alimentação em diversas regiões do Brasil (como no Pantanal Mato-Grossense).

► Taxa de sobrevivência por faixa etária

Ao se reproduzir, um molusco bivalve origina milhares de larvas, que nadam ativamente até se fixarem a um substrato (uma rocha, por exemplo). Durante o estágio larval, a grande maioria dos indivíduos morre; consequentemente, poucos sobrevivem e atingem a maturidade sexual. Já, entre os cnidários (como os corais), a taxa de mortalidade é praticamente a mesma em todas as etapas da vida. Quando se analisa a chance de sobrevivência da espécie humana nas diferentes faixas etárias, nota-se que ela diminui significativamente nas faixas de idade mais avançada.

A taxa diferencial de sobrevivência por faixa etária pode ser representada graficamente (**figura 7**).

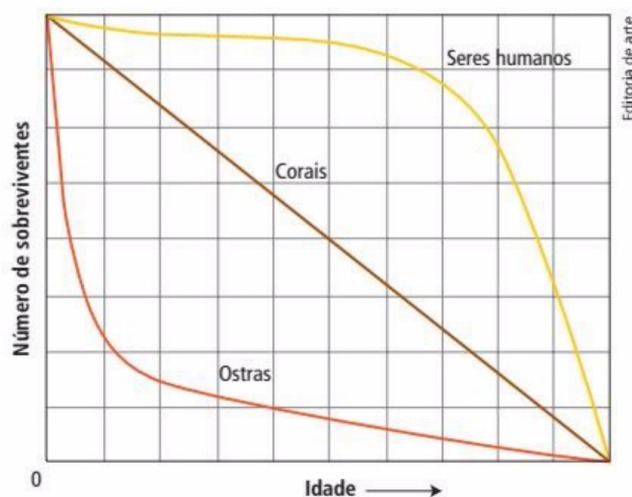
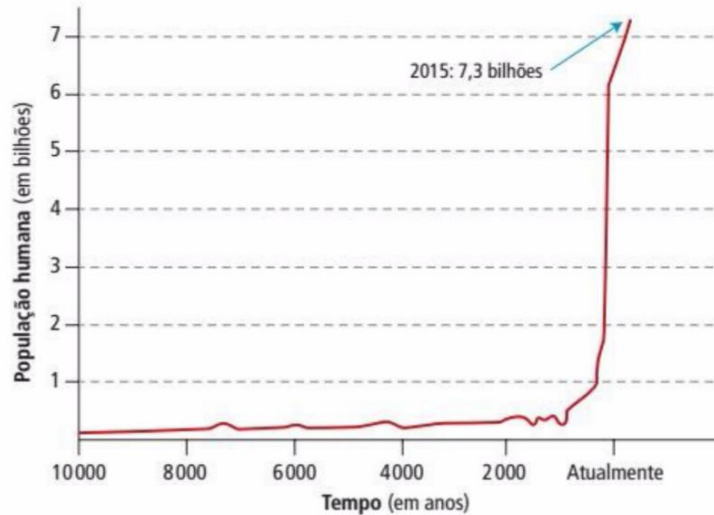


Figura 7. Curvas de sobrevivência: moluscos bivalves, corais e seres humanos.

Fonte: SMITH, R. L.; SMITH, T. M. *Ecology and Field Biology*. New York: Harper Collins, 2000.

População humana

A densidade da população humana mundial vem aumentando de forma acentuada, particularmente a partir de meados do século XIX (**figura 8**). As causas desse rápido crescimento relacionam-se com o desenvolvimento industrial, o aumento da produtividade agrícola e o desenvolvimento da medicina e das estratégias de prevenção, diagnóstico e tratamento de numerosas doenças.



Fonte: SOLOMON, E. P. et al. **Biology**. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011.

Figura 8. Curva de crescimento da população humana. Durante os últimos anos, a população humana tem aumentado quase exponencialmente. Especialistas preveem que a população se estabilize durante o século XXI, formando uma curva em S, observada em outras espécies.

Gráficos: Editora de arte

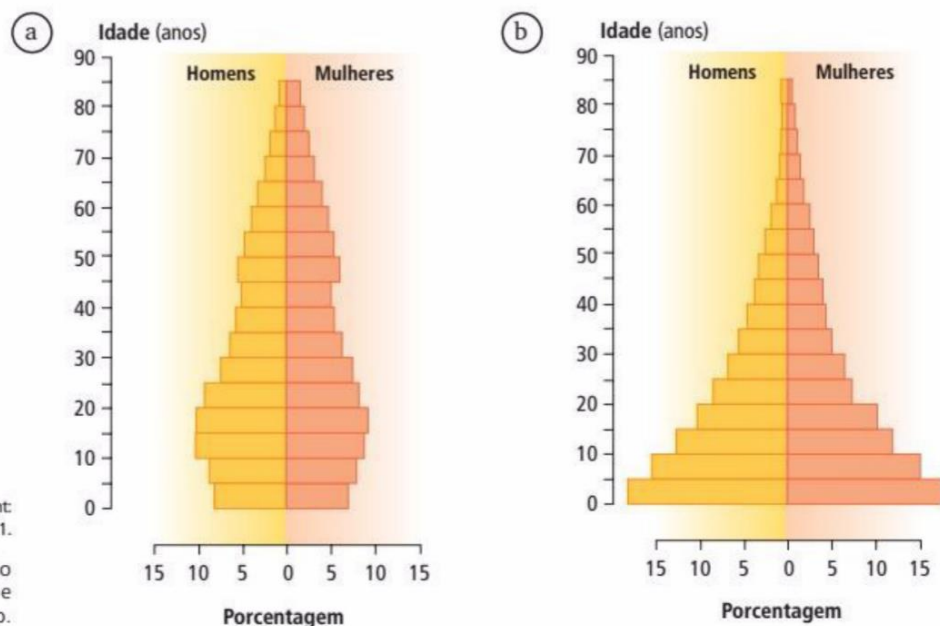
Pirâmides de distribuição etária

A distribuição de indivíduos de acordo com faixas etárias forma **pirâmides de distribuição etária**, compostas de retângulos sobrepostos. A largura de cada retângulo é proporcional ao número de indivíduos da faixa etária que representa.

Nos países desenvolvidos e industrializados (**figura 9a**), há muitos indivíduos nas faixas etárias em que são férteis e economicamente ativos (ou seja, estão no mercado de trabalho). A taxa de sobrevivência na infância é alta, e o número de idosos é grande. No entanto, como os casais tendem a gerar poucos filhos, a população está praticamente estabilizada. Esses dados indicam que as pessoas dispõem de boas condições de educação, alimentação, saneamento básico e assistência médica.

Nos países em desenvolvimento (**figura 9b**), a pirâmide etária tem base larga e ápice estreito. O número de indivíduos férteis e economicamente ativos é menor do que o número de recém-nascidos e de jovens, indicando que os casais geram muitos descendentes. Portanto, a população está em crescimento. A mortalidade entre recém-nascidos e crianças é elevada, e o número de idosos é reduzido. As possíveis razões para esse padrão de distribuição etária são a baixa escolaridade, a má nutrição, as condições inadequadas de moradia e de saneamento, o sistema deficiente de atendimento à saúde etc.

Sociólogos, geógrafos e economistas podem enriquecer o debate sobre as consequências da mudança da distribuição etária da população.

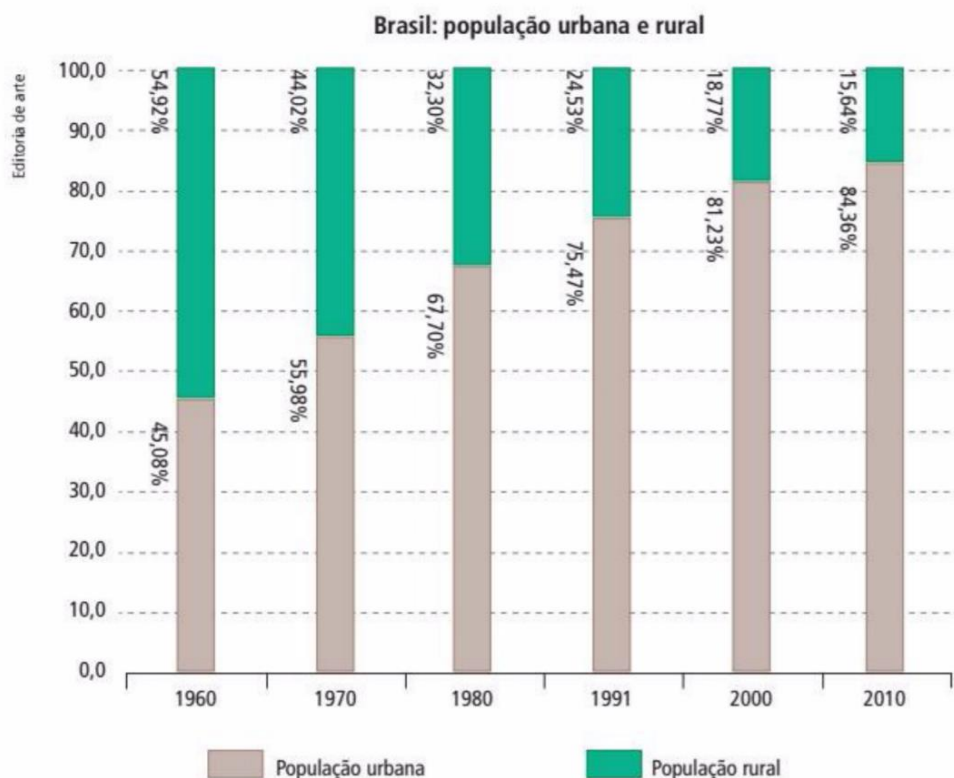


Fonte: SOLOMON, E. P. et al. **Biology**. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011.

Figura 9. Pirâmides de distribuição etária (a) de país desenvolvido e (b) de país em desenvolvimento.

► Dinâmica da população brasileira

Durante meio século (de 1890 a 1940), a população brasileira apresentou taxa de crescimento próxima a 1,8% ao ano. Nessa época, predominava um padrão de crescimento populacional resultante de altas taxas de natalidade e de mortalidade. Entre 1920 e 1940, por exemplo, a taxa de natalidade girou em torno de 44 nascimentos por mil habitantes, e a taxa de mortalidade ultrapassou 25 mortes por mil habitantes. Em consequência, o aumento populacional manteve-se em níveis inferiores a 2% ao ano.



Um vasto campo de análise estatística des-cortina-se neste capítulo, convidando para trabalhar com a Matemática. É importante salientar que a leitura correta de tabelas, gráficos e diagramas favorece a aquisição rápida e precisa de informações. Assim, é interessante estimular os alunos a compreenderem esses elementos e também a organizarem dados em tabelas e gráficos.

Figura 10. De 1960 a 2010, o Brasil transformou-se em um país urbano-industrial. A mudança do foco econômico da produção e a concentração da população nas cidades alteraram os padrões reprodutivos.

Fonte: Folha de S.Paulo, 29 abr. 2011.

No início do século XX, a maior parte da população brasileira vivia na zona rural. Como as crianças participavam desde cedo dos trabalhos na lavoura, uma família grande dispunha de mais trabalhadores e, portanto, de maior renda familiar. Isso ajuda a entender as altas taxas de natalidade desse período. Contudo, os serviços de saneamento básico (redes de água e de esgoto) e o acesso ao sistema de saúde eram privilégios da minoria da população. As doenças espalhavam-se descontroladamente, ocasionando altas taxas de mortalidade.

Esse padrão de crescimento populacional começou a ser alterado nos anos 1940, quando as taxas de mortalidade começaram a diminuir, lentamente a princípio. Nessa época, iniciaram-se as campanhas nacionais de erradicação de doenças epidêmicas por meio da vacinação em massa e da pulverização de inseticidas contra os insetos transmissores de algumas enfermidades. Nessa etapa, o declínio da mortalidade não foi acompanhado pelo declínio da natalidade. O resultado foi o aumento das taxas de crescimento vegetativo (diferença entre a taxa de natalidade e a taxa de mortalidade) da população brasileira: 2,4% de incremento anual médio entre 1940 e 1950, 3,0% entre 1950 e 1960, 2,9% entre 1960 e 1970. Em 1940, a população total do país era de 41,2 milhões e, em 1970, de 93,1 milhões, ou seja, houve um crescimento de cerca de 130% em apenas 30 anos.

No fim da década de 1960, porém, a natalidade brasileira começou a cair de forma generalizada, tendência que prosseguiu nas décadas seguintes, puxando para baixo as taxas médias de incremento anual da população. Essa alteração do comportamento reprodutivo da população relaciona-se com as transformações estruturais na economia brasileira, nas últimas décadas.

Na década de 1960, cada brasileira com idade entre 15 e 44 anos tinha, em média, 6 filhos; atualmente, gira em torno de 1,9 o número médio de filhos por mulher. Mais de 70% das brasileiras casadas, com idade entre 15 e 44 anos, usam métodos anticoncepcionais; aproximadamente 45% delas fizeram laqueadura tubária e não terão mais nenhum filho.

Em 1970, os jovens (0 a 19 anos) eram cerca de 42% da população brasileira. Em 2010, porém, a base da pirâmide de distribuição etária brasileira se estreitou, ao passo que as porções médias e o topo ficaram mais largos. As mudanças da estrutura etária confirmam as mudanças do comportamento reprodutivo da população brasileira e mostram a tendência demográfica das próximas décadas (figura 11). Caso se confirme, em 2020 o Brasil deixará de ser um país jovem. Quando a transição demográfica dos países em desenvolvimento tiver terminado, as pirâmides de distribuição etária de base estreita deixarão de ser privilégio de países ricos.

A transição demográfica completa-se em ritmos desiguais entre as populações urbana e rural. A redução da natalidade é menor no campo do que na cidade. Nas pequenas propriedades rurais familiares, as crianças participam desde cedo do processo produtivo, e o custo de formação do indivíduo tende a ser significativamente menor. Assim, a pirâmide de distribuição etária da população rural brasileira revela preponderância de jovens, enquanto a pirâmide da população urbana mostra que a transição demográfica está na iminência de se completar.

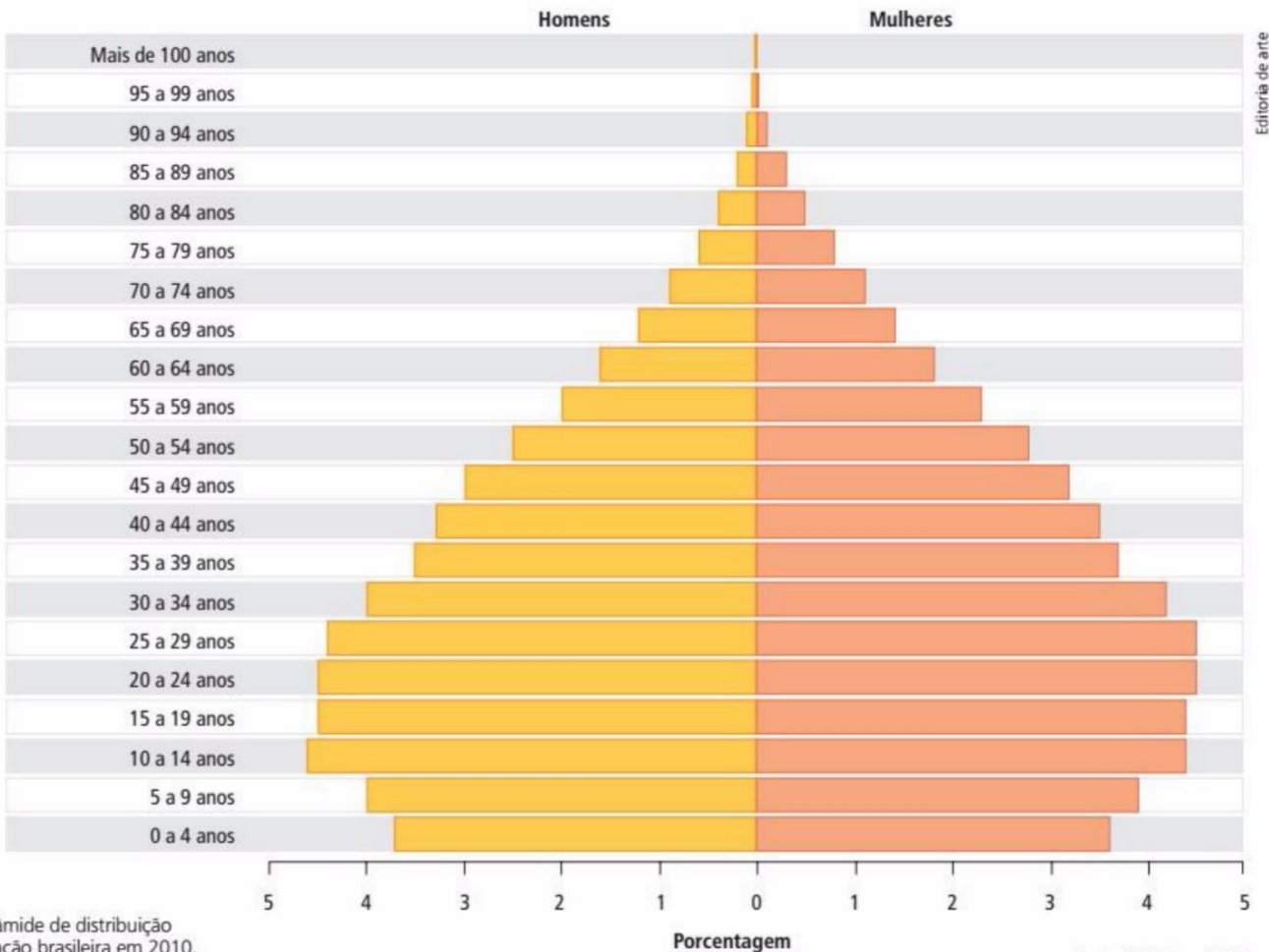


Figura 11. Pirâmide de distribuição etária da população brasileira em 2010.

Embora com taxas ainda superiores à média nacional, as regiões Norte e Nordeste vêm reduzindo a fecundidade (tabela 1), sugerindo melhoria das condições de vida e redução da pobreza no meio rural.

Tabela 1. Taxas de fecundidade total, segundo as grandes regiões brasileiras – 1940/2010											
Regiões	Taxas de fecundidade total										
	1940	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2004	2005	2006	2010
Brasil	6,2	6,2	6,3	5,8	4,4	2,9	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9
Norte	7,2	8,0	8,6	8,2	6,5	4,2	3,2	2,7	2,5	2,5	2,5
Nordeste	7,2	7,5	7,4	7,5	6,1	3,8	2,7	2,4	2,2	2,2	2,0
Sudeste	5,7	5,5	6,3	4,6	3,5	2,4	2,1	1,9	1,9	1,8	1,8
Sul	5,7	5,7	5,9	5,4	3,6	2,5	2,2	2,0	1,9	1,9	1,9
Centro-Oeste	6,4	6,9	6,7	6,4	4,5	2,7	2,3	2,1	2,0	2,0	1,9

Fonte das informações: IBGE. Censo demográfico 1940-2010 e Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2004-2011.

Brasil tem mais de 204 milhões de habitantes, diz IBGE

O Brasil tem uma população de 204 450 649 habitantes, segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), publicados nesta sexta-feira (28) [de agosto de 2015] no Diário Oficial da União. Os dados são estimativas de população feitas com base no dia 1º de julho de 2015.

Do ano passado para cá, a população cresceu cerca de 0,87% – em 2014, segundo o IBGE, o Brasil havia chegado a 202 768 562 de habitantes.

O Estado mais populoso, São Paulo, tem 44,4 milhões de habitantes – 21,7% da população total do país. Já no Estado menos populoso, Roraima, vivem 505,6 mil pessoas – 0,2% da população total.

Além de São Paulo, cinco Estados têm mais de 10 milhões de habitantes: Minas Gerais (20,86 milhões), Rio de Janeiro (16,55 milhões), Bahia (15,2 milhões), Rio Grande do Sul (11,24 milhões) e Paraná (11,16 milhões).

A lista das unidades da federação com mais de 5 milhões de pessoas traz outros seis Estados: Pernambuco (9,34 milhões), Ceará (8,9 milhões), Pará (8,17 milhões), Maranhão (6,9 milhões), Santa Catarina (6,81 milhões) e Goiás (6,61 milhões).

As demais unidades federativas têm as seguintes populações: Paraíba (3,97 milhões), Espírito Santo (3,92 milhões), Amazonas (3,93 milhões), Rio Grande do Norte (3,44 milhões), Alagoas (3,34 milhões), Mato Grosso (3,26 milhões), Piauí (3,2 milhões), Distrito Federal (2,91 milhões), Mato Grosso do Sul (2,65 milhões), Sergipe (2,24 milhões), Rondônia (1,76 milhão) e Tocantins (1,51 milhão).

Além de Roraima, outros dois Estados têm menos de 1 milhão de habitantes: Amapá (766,6 mil) e Acre (803,5 mil). [...]

Brasil tem mais de 204 milhões de habitantes, diz IBGE. UOL Notícias, 28 ago. 2015. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/08/28/brasil-tem-mais-de-204-milhoes-de-habitantes-diz-ibge.htm>>. Acesso em: mar. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia e pesquisar mais sobre o tema, responda:

1. Qual é a participação (em porcentagem) dos cinco estados mais populosos na população do país? E das quinze maiores regiões metropolitanas?
2. Comente alguns impactos sociais e ambientais da concentração populacional nas maiores regiões metropolitanas do país.

Indicadores de saúde

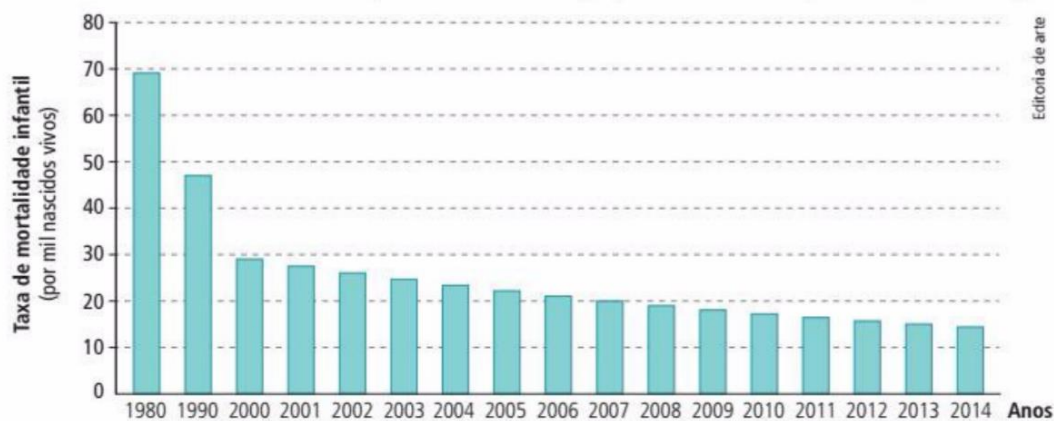
Além de aspectos como saneamento, alimentação e serviços de saúde, a qualidade de vida de uma população inclui a possibilidade de acesso ao lazer, à cultura e à posse da terra. Certos valores podem expressar, com relativa fidelidade, as condições gerais de vida. São os **indicadores sociais e de saúde**, relacionados às condições de renda, de moradia e de escolarização, à mortalidade geral, à mortalidade infantil, à esperança de vida ao nascer, à mortalidade materna etc. Entende-se como **esperança de vida ao nascer** (EV) o tempo médio de vida esperado para um recém-nascido, expresso em anos.

Os dados mais preocupantes da população brasileira em geral, por exemplo, referem-se à situação de crianças e de jovens. Segundo o Programa Nacional de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente (1999), cerca de metade da população brasileira com idade inferior a 20 anos vive em famílias com renda *per capita* inferior a meio salário mínimo.

A **taxa de crescimento populacional** pode ser calculada conhecendo-se as taxas de natalidade, mortalidade e migração

(imigração e emigração). Por convenção, as taxas de natalidade e de mortalidade são expressas por grupo de mil pessoas, enquanto a taxa de crescimento é expressa em porcentagem (ou seja, por grupo de cem pessoas). Entende-se como **taxa de fecundidade** o número médio de filhos por mulher em uma população e como **taxa de mortalidade infantil** (TMI) o número de crianças que morrem antes de completar um ano de vida em cada grupo de mil nascidos vivos.

A mortalidade infantil reduziu-se bastante, de 1980 a 2014 (**figura 12**), mas permanece elevada, assim como é alta a participação de crianças e adolescentes no mercado de trabalho, que correspondem a aproximadamente 11,6% da população economicamente ativa. Em 1996, na faixa etária de 11 a 14 anos, 40% das crianças já trabalhavam. De 1980 a 1990, subiu de 11,5% para 17% a porcentagem de crianças que frequentavam a pré-escola, índice extremamente baixo, se comparado com o de países desenvolvidos, onde tal porcentagem supera 80%.

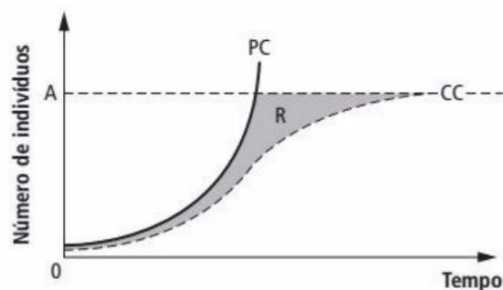


Fontes: IBGE. *Projeção da população do Brasil por sexo e idade: Revisão 2008*. Rio de Janeiro, 2008. (Estudos & Pesquisas: Informação Demográfica e Socioeconômica, 24); IBGE. *População: taxas de mortalidade infantil*. Rio de Janeiro, 2014.

Figura 12. Taxa de mortalidade infantil no Brasil, para ambos os sexos, durante o período de 1980 a 2014.

Atividades

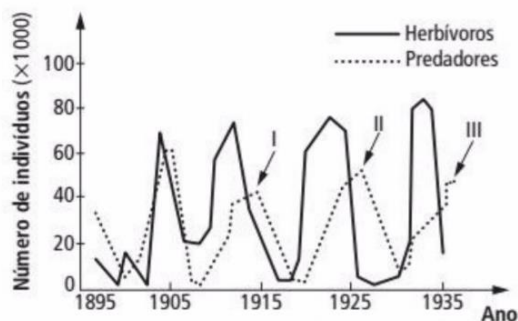
1. (Fuvest-SP)



A curva PC do gráfico representa o potencial de crescimento de uma população animal, enquanto CC representa seu crescimento em um certo ambiente. R representa a resistência do meio.

- Qual o significado biológico do valor A?
- Dê exemplo de dois fatores que possam constituir a resistência do meio.

2. (Fuvest-SP) O gráfico a seguir representa o crescimento de uma população de herbívoros e da população de seus predadores:



Gráficos e esquemas: Editora de arte

- Pela análise do gráfico, como se explica o elevado número de predadores nos pontos I, II e III? Justifique sua resposta.
- Se, a partir de 1935, os predadores tivessem sido retirados da região, o que se esperaria que acontecesse com a população de herbívoros? Justifique sua resposta.

3. A tabela seguinte ilustra a taxa de mortalidade infantil no Brasil por regiões, no período de 1990 a 2015.

País/Região	1990	2000	2010	2015
Brasil	45,2	30,4	22,2	18,8
Norte	44,1	30,9	22,8	19,5
Nordeste	71,5	45,2	32,1	26,7
Sul	27,4	20,5	14,6	12,4
Sudeste	31,7	22,2	16,1	13,2
Centro-Oeste	32,4	23,3	17,3	14,9

Fonte: IBGE. Indicadores sociodemográficos: Prospectivos para o Brasil 1991-2030. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/publicacao_UNFPA.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

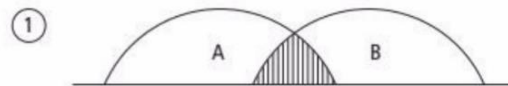
Elabore possíveis explicações para as diferenças encontradas quando se comparam:

- os dados brasileiros de 1990 a 2015;
- os dados das regiões Norte e Nordeste e das regiões Sul e Sudeste em 2015.

4. Sobre as pirâmides de distribuição etária, responda:

- Que informações podem ser obtidas pela análise da pirâmide de distribuição etária de um país?
- Na transição de um país em desenvolvimento para país desenvolvido, que alteração é esperada em sua pirâmide etária? Aponte duas possíveis explicações.

5. (Vunesp-SP) Considere os esquemas 1 e 2, representativos das populações A e B em dois momentos diferentes. Em um primeiro momento, ter-se-ia:



Após um determinado período de tempo, a representação seria:



Compare os dois esquemas e responda:

- O que representa a região hachurada no esquema 1?
- O que poderia ter ocorrido com os indivíduos correspondentes a essa região, no esquema 2?

6. Durante quatro anos, foram coletados dados a partir de uma população inicial de 600 capivaras em uma fazenda experimental de cerca de 100 hectares (1 hectare equivale a 10 000 m²). Os determinantes populacionais variaram da seguinte maneira:

Determinantes populacionais	Ano			
	1985	1986	1987	1988
Natalidade	150	220	450	500
Mortalidade	50	87	55	118
Imigração	10	30	50	30
Emigração	10	13	25	142

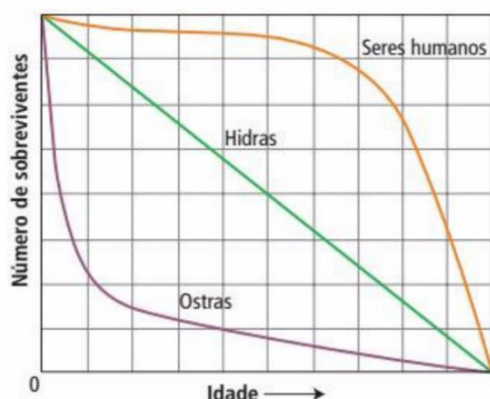
- Qual deveria ser o tamanho da população no final de 1988?
- Calcule a densidade da população no final do ano de 1986.
- Proponha uma hipótese que explique os valores observados para a mortalidade e a emigração no ano de 1988 em relação aos anos anteriores.

7. (Enem/MEC) Numa região, originalmente ocupada por Mata Atlântica, havia, no passado, cinco espécies de pássaros de um mesmo gênero. Nos dias atuais, essa região se reduz a uma reserva de floresta primária, onde ainda ocorrem as cinco espécies, e a fragmentos de floresta degradada, onde só se encontram duas das cinco espécies. O desaparecimento das três espécies nas regiões degradadas pode ser explicado pelo fato de que, nessas regiões, ocorreu

- aumento do volume e da frequência das chuvas.
- diminuição do número e da diversidade de habitats.

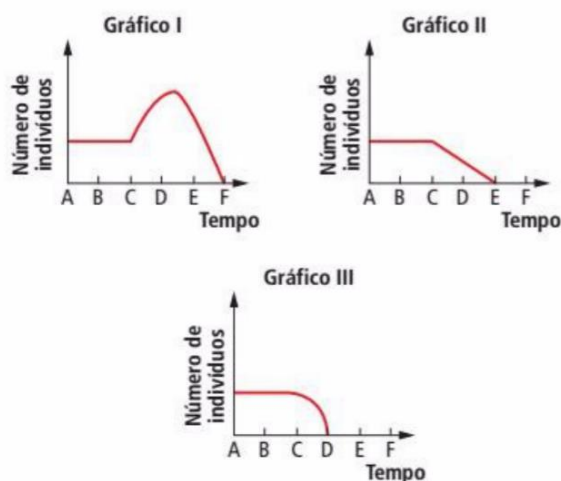
- c) diminuição da temperatura média anual.
- d) aumento dos níveis de gás carbônico e de oxigênio na atmosfera.
- e) aumento do grau de isolamento reprodutivo interespecífico.

8. A taxa de sobrevivência em cada faixa etária varia nas diversas espécies, o que pode ser representado por curvas de sobrevivência.



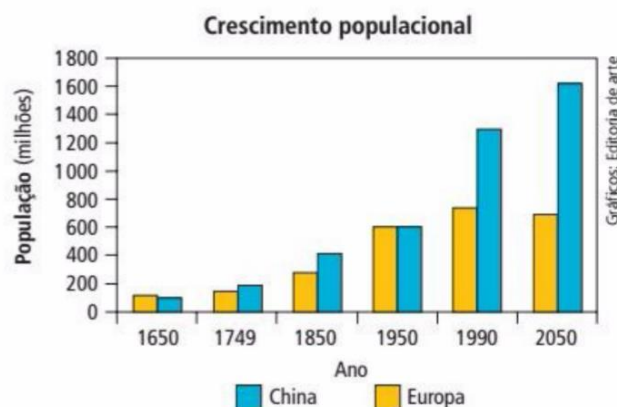
Curvas de sobrevivência representando padrões de declínio do número de indivíduos com o aumento da idade para: ostras; hidras; seres humanos (residentes em países desenvolvidos).

- a) Que conclusões se obtêm na análise da curva de sobrevivência das hidras?
 - b) Interprete a curva de sobrevivência da população humana de países desenvolvidos, estabelecendo relação entre ela e a pirâmide de distribuição etária desses países.
9. (UFU-MG) Justifique a seguinte afirmação: “Apesar de serem herbívoros, os bichos-pau são insetos de pouca importância econômica porque o seu potencial biótico é pequeno”.
10. As populações de uma determinada região, capim, preás e serpentes constituem uma cadeia alimentar. Medidas das variações no tamanho das três populações, durante certo intervalo de tempo, permitiram a construção dos seguintes gráficos (dados hipotéticos):



Elabore uma hipótese plausível para explicar o que aconteceu, nessa região, no intervalo de tempo A–F, identificando as populações representadas, respectivamente, pelos gráficos I, II e III.

11. (Enade/MEC) O gráfico a seguir compara o crescimento das populações humanas da Europa e da China em diversos anos e inclui uma projeção para o ano 2050.



Fonte: <www.iiias_a.ac.at/research/luc/china_food/data/pop/pop6.htm>.

Os dados mostram que:

- a) ambas as populações estão estabilizadas.
 - b) a população chinesa ajusta-se ao modelo sigmoide de crescimento populacional.
 - c) a população europeia apresenta evidências de controle, atingindo sua capacidade de carga.
 - d) a população chinesa ajusta-se ao modelo exponencial de crescimento e atingiu a sua capacidade de carga.
 - e) a população europeia ajusta-se ao modelo exponencial de crescimento populacional.
12. A taxa de crescimento populacional pode ser calculada conhecendo-se as taxas de natalidade, mortalidade e migração (imigração e emigração). Por convenção, as taxas de natalidade e mortalidade são expressas por grupos de 1 000 pessoas, enquanto a taxa de crescimento é expressa em porcentagem (ou seja, por grupo de 100 pessoas). Podemos assumir que o tempo que uma população demora para dobrar de tamanho é calculada dividindo-se 70 pela taxa anual de crescimento. Com base nessas informações e desprezando as taxas de migração, complete a tabela a seguir.

País	Taxa de natalidade	Taxa de mortalidade	Taxa de crescimento	Tempo de duplicação (em anos)
EUA	17	9		
Índia	31	10		
China	21	7		
Somália	49	19		
França	14	9		

Fonte: BRUM, G. et al. *Biology: Exploring life*. New York: J. Wiley & Sons, 1994.

Dinâmica populacional e consequências ambientais

Ah, eu sei que não é possível. Não me assente o senhor por beócio. Uma coisa é pôr ideias arrançadas, outra é lidar com país de pessoas, de carne e sangue, de mil e tantas misérias... Tanta gente — dá susto de saber — e nenhum se sossega: todos nascendo, crescendo, se casando, querendo colocação de emprego, comida, saúde, riqueza, ser importante, querendo chuva e negócios bons...

ROSA, G. *Grande Sertão: Veredas*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1953.

Vivemos em uma sociedade que, cada vez mais, adquire caráter global. As pessoas são grandes consumidores de alimentos, roupas, produtos culturais etc. Uma eficiente indústria de *marketing* e propaganda cria a necessidade de possuir determinados bens. Esse modelo de vida tem um suporte econômico baseado na alta produtividade da indústria, na grande agilidade do comércio e na enorme demanda de matérias-primas e de energia. Os produtos têm vida útil bastante curta; os bens duráveis são, na verdade, deterioráveis. Criam-se produtos, tornando algumas coisas obsoletas em pouco tempo: é a chamada obsolescência programada.

Muitos países passaram por períodos de crescimento econômico em que os problemas ambientais foram deixados em segundo plano: destruição de ecossistemas, eliminação de muitas espécies e formação de resíduos tóxicos foram consequências desse desenvolvimento a qualquer custo. Em vários momentos da história de muitos países, o desenvolvimento não resultou em melhores condições socioeconômicas para todos. Nesse processo, muitos ficaram à margem do conforto e do bem-estar.

A urbanização acelerada e desordenada, que se caracteriza pela concentração de grandes contingentes populacionais e atividades econômicas em áreas relativamente pequenas, além de um modelo de desenvolvimento econômico marcado pelo uso abusivo (às vezes, predatório) dos recursos naturais, tem colaborado para a rápida e intensa degradação das cidades.

A perversa concentração de renda e um modelo inadequado de urbanização forçaram os mais desfavorecidos a ocupar as periferias das grandes cidades, desprovidos das condições mínimas de higiene e de saúde, como água tratada e esgoto. A falta de alimentação, de vacinação e de higiene são o caldo para a proliferação de numerosas doenças. Na impossibilidade de obter moradias adequadas, grande parte dos trabalhadores passa a viver afastada da cidade de onde tira seu próprio sustento.

O desmatamento propicia a ocorrência de erosão e de deslizamentos de terra, o que frequentemente provoca sérios acidentes. Muitas vezes, algumas pessoas ocupam regiões de matas e passam a explorá-las na busca de alimento ou de produtos que possam ser vendidos, como palmito e aves exóticas. Essas áreas geralmente são mananciais de água, que correm o risco de secar ou ser contaminados, uma vez que não há coleta ou tratamento de esgoto.

Fernando Favoretto/Ciaar Imagem



A mesma espécie, mas “nichos ecológicos” bastante diferentes. A miséria acompanha o desenvolvimento, e pessoas de uma mesma cidade podem apresentar grandes desníveis culturais e socioeconômicos.



Spencer Platt/Getty Images

Hoje, os temas ambientais são cada vez mais discutidos, com a participação de governos, partidos políticos, empresas e de toda a população, além das diversas entidades ligadas à questão ambiental. As empresas que demonstram preocupações com o ecossistema têm melhor imagem aos olhos da sociedade, o que ajuda a divulgar e vender seus produtos. Uma ação depredatória e um acidente que cause impacto ambiental trazem uma imagem bastante negativa para a empresa, que, muitas vezes, arca com grande prejuízo para resolver problemas que poderiam ter sido evitados ou para solucionar pendências judiciais quando é acionada em virtude de danos a pessoas ou ao ecossistema.



(a) As moradias precárias e os edifícios, no Rio de Janeiro (RJ), 2013, expõem um retrato da desigualdade social: poucos metros separam condições de vida completamente distintas. (b) A miséria é fator de degradação ambiental. Na fotografia, vemos palafitas em Brasília Teimosa, Recife (PE), 2014.



Preocupação consciente ou estratégia de *marketing*? Demonstrar cuidados para com o ambiente ajuda a conquistar consumidores.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Por que o modelo de urbanização que privilegia o transporte individual acentua os problemas ambientais?
2. Comente a seguinte afirmação da diplomata e médica norueguesa Gro Harlem Brundtland, ex-diretora da Organização Mundial da Saúde: “A saúde das pessoas depende do que elas respiram, bebem e comem. Então, o ar, a água e o saneamento, que dizem respeito ao meio ambiente, são essenciais”.

Biodiversidade

Uma tapeçaria de formas de vida

Aprilphoto/Shutterstock.com



A crescente atenção da indústria farmacêutica e do mercado mundial do agronegócio para com os produtos provenientes de fontes naturais está desencadeando um complexo jogo de interesses envolvendo os países de alta biodiversidade (como o Brasil e outros países latino-americanos, africanos e asiáticos), onde a maioria desses recursos é encontrada.



Quando ecologia e economia se encontram

O homem foi dotado de razão e de força criadora para multiplicar o que lhe foi dado, mas até hoje não tem criado, só destruído. Há cada vez menos florestas, os rios secam, a caça desaparece, o clima está todo estragado, a Terra torna-se mais pobre e mais feia a cada dia que passa.

TCHECOV, A. P. **Tio Vânia**. Lisboa: Relógio D'Água, 2005.

Na peça **Tio Vânia**, escrita pelo médico e escritor russo Anton Pavlovitch Tchecov (1860-1904) e encenada pela primeira vez em 1897, o dramaturgo narra a industrialização da Rússia dos czares, quando as florestas foram maciçamente derrubadas, fornecendo madeira (usada na construção de galpões e fábricas) e lenha (que movimentava as máquinas a vapor) a um parque industrial que rapidamente se expandia.

A ideia de preservação do patrimônio natural existe há muito tempo, mas somente a partir da Convenção Internacional sobre Biodiversidade (1992) estabeleceu-se um consenso mundial de que conhecer a diversidade da vida é meta prioritária para a conservação e para o desenvolvimento sustentável.

Iniciativas para inventariar e obter informações sobre a biodiversidade são colocadas em prática em vários países, incluindo o Brasil. A Amazônia, por exemplo, tornou-se tema popular no mundo todo. Nos países desenvolvidos, a mídia aborda incessantemente a marcha da devastação das florestas tropicais e as ameaças que pairam sobre grupos indígenas e reservas extrativistas. Nesse interesse, há um componente emocional, pois assistimos à destruição das últimas florestas ancestrais do planeta.

Desde os primórdios da história humana, essas paisagens naturais foram submetidas aos golpes da ocupação produtiva destinada à extração madeireira, à agricultura, à pecuária e à urbanização. Nos séculos XVIII e XIX, a aceleração do tempo promovida pela indústria desflorestou bosques temperados na Europa e na América do Norte; no século XX, as florestas tropicais pluviais, encurraladas pela indústria madeireira e pelas frentes de povoamento, experimentaram rápida retração. Todavia, há outro componente que orienta as atenções: o econômico. Florestas tropicais são depósitos de imensa riqueza biológica que, processada pela indústria farmacêutica na era da engenharia genética, promete novas drogas e lucros fabulosos. Comparada com seu potencial químico, a agropecuária e a exploração madeireira representam perda de riquezas naturais.

Não é apenas a mídia que se volta para os temas da devastação e da preservação das florestas tropicais. Esse temário tornou-se um dos focos da diplomacia ecológica e gerou a Convenção da Biodiversidade. O labirinto desse tratado evolui em torno dos interesses de Estados com diferentes graus de poder econômico e tecnológico e incide sobre o exercício da soberania territorial dos Estados que abrigam tais florestas remanescentes. Todavia, como afirma Colin Macilwain¹:

Por uma série de fatores, os recursos biológicos mundiais estão distribuídos em uma proporção inversa à distribuição de recursos materiais.

Exemplificando, o Reino Unido possui aproximadamente 1 800 espécies de plantas, enquanto o Brasil tem cerca de 34 mil.

¹ MACILWAIN, C. When rhetoric hits reality in debate on bioprospecting. *Nature*, 392, 9 abr. 1998, p. 535-540. (Tradução nossa.)

Planeta da vida

A Terra tem raio de aproximadamente 6 400 km e circunferência com cerca de 40 000 km na linha equatorial. A parte superficial é a **crosta terrestre** (ou **litosfera**), formada de rochas por vezes cobertas de água doce ou oceânica. Em sua camada externa pode haver solo, rico em matéria orgânica e partículas inorgânicas, entre as quais circulam água e gases, que possibilitam o desenvolvimento de seres vivos.

Nosso planeta é envolvido por uma camada gasosa, a **atmosfera**, e contém uma massa líquida, a **hidrosfera**, formada por mares, geleiras, rios, lagos e vapor de água. As águas dos oceanos cobrem três quartos da superfície do planeta. A **biosfera**, a parte em que se desenvolvem os seres vivos, inclui regiões da litosfera, da atmosfera e da hidrosfera.

Fatores abióticos

Os fatores abióticos, particularmente aqueles relacionados ao clima, são influenciados, entre outros, pela relação entre a Terra e o Sol, fundamental na dinâmica do planeta.

A radiação solar, parte da qual é constituída de luz visível, necessária à realização de fotossíntese, aquece a Terra, associa-se à evaporação da água e à formação de nuvens e de ventos.

Fundamentalmente, a temperatura e a disponibilidade de água, sais, luz e gases regulam a distribuição de produtores (**figura 1**) e de outros seres vivos, como consumidores e decompositores.



Figura 1. Alguns fatores abióticos (como a disponibilidade de luz e de água e a temperatura) interferem na fotossíntese, responsável pela produção da maior parte da matéria orgânica utilizada pelos seres vivos. Na foto, Floresta Amazônica, Manaus, AM, 2014.

A **insolação** (quantidade e distribuição de radiação solar que incide sobre o planeta) relaciona-se com os dois movimentos básicos da Terra: **rotação** e **translação**.

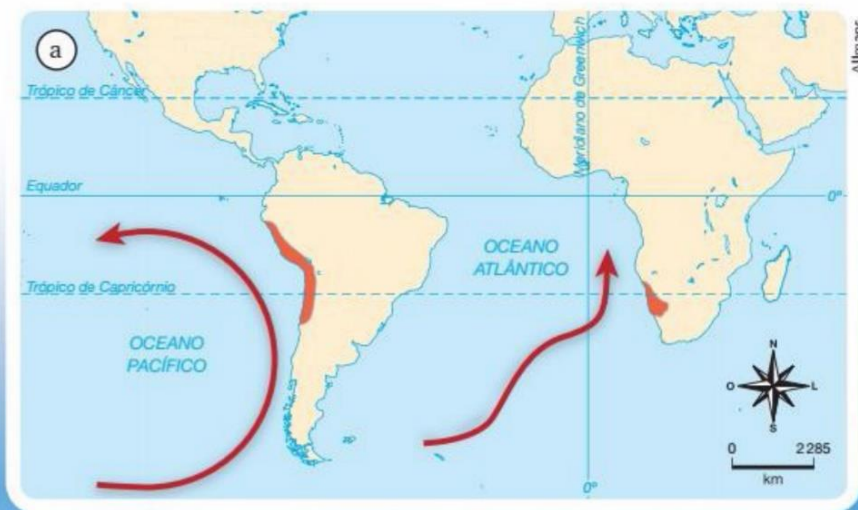
As estações do ano estão relacionadas com o movimento de translação e com a posição da Terra durante esse movimento. As mudanças de estação são caracterizadas por variações de temperatura, umidade e duração do dia e podem provocar alterações nos seres vivos, como o comportamento de acasalamento, migrações, queda de folhas e floração. A rotação é responsável pela alternância dia-noite, que exerce grande influência nos seres vivos. Certos animais são mais ativos durante o dia; outros, durante a noite. Plantas sofrem influência dessa alternância na taxa de fotossíntese, na abertura de flores e no dobramento de folhas.

A rotação da Terra influencia também a formação e a manutenção das correntes marítimas e de ar. As correntes que se movimentam dos polos em direção à linha equatorial são frias; as que se afastam dela são quentes. A água quente é menos densa e mantém-se mais superficialmente; a água fria, ao contrário, é mais densa e tende a ficar no fundo. A América do Sul, no litoral do oceano Pacífico, é banhada por uma corrente fria. Nessa região ocorre o fenômeno da **ressurgência**, um afloramento de águas frias das profundezas oceânicas, que trazem nutrientes (como nitratos e fosfatos), facilitando o desenvolvimento de algas e, conseqüentemente, de toda a teia alimentar, incluindo os peixes. Boa parte da costa brasileira, no litoral do oceano Atlântico, é banhada por uma corrente quente e superficial, que determina menor potencial pesqueiro em relação ao oceano Pacífico.

Reveja com os alunos os fatores que interferem na produtividade dos ecossistemas nas páginas 21 e 22.

As correntes marítimas podem influenciar a pluviosidade de uma região. No norte do Chile, por exemplo, os ventos provenientes do mar, carregados de umidade, ao passarem sobre áreas de influência da corrente fria, sofrem resfriamento, ocorrendo grandes precipitações de chuva. Esses ventos, que chegam já secos ao continente, determinam grande aridez em uma vasta área, o deserto de Atacama (**figura 2**). Fenômeno semelhante a esse acontece no deserto da Namíbia, na África.

(b)



Outro aspecto relaciona-se à distribuição geográfica dos desertos. Nas regiões equatoriais, o aquecimento dos oceanos pelo Sol mantém alta a taxa de evaporação. O ar aquecido e rico em vapor de água sobe para camadas mais elevadas da atmosfera e dirige-se aos trópicos. No trajeto, o vapor de água condensa-se, e ocorrem precipitações de chuva. Ao chegarem a latitudes próximas de 30° Norte ou Sul, as massas de ar quase já não apresentam umidade. Por isso, em latitudes entre 30° e 40°, são encontrados grandes desertos, como o Saara, o deserto da Austrália e o deserto de Gobi (na Ásia).

As terras cobrem pouco mais de um quarto da superfície do planeta e apresentam perfil irregular. A formação do **relevo**, por dobramentos da crosta terrestre e pela contínua fragmentação das rochas, chamada **intemperismo** (causada pelas águas, ventos e outros fatores), modela a superfície do planeta. A elevação das montanhas é uma das alterações de relevo que causam maior impacto no ambiente, pois funcionam como barreiras que podem impedir a passagem de nuvens carregadas de umidade (**figura 3**).

Figura 2. (a) No mapa as setas vermelhas representam correntes marítimas frias. A distribuição dessas correntes tem influência na formação de áreas desérticas (no mapa em cor laranja), como o deserto da Namíbia, na África, e (b) o deserto de Atacama, na América do Sul.

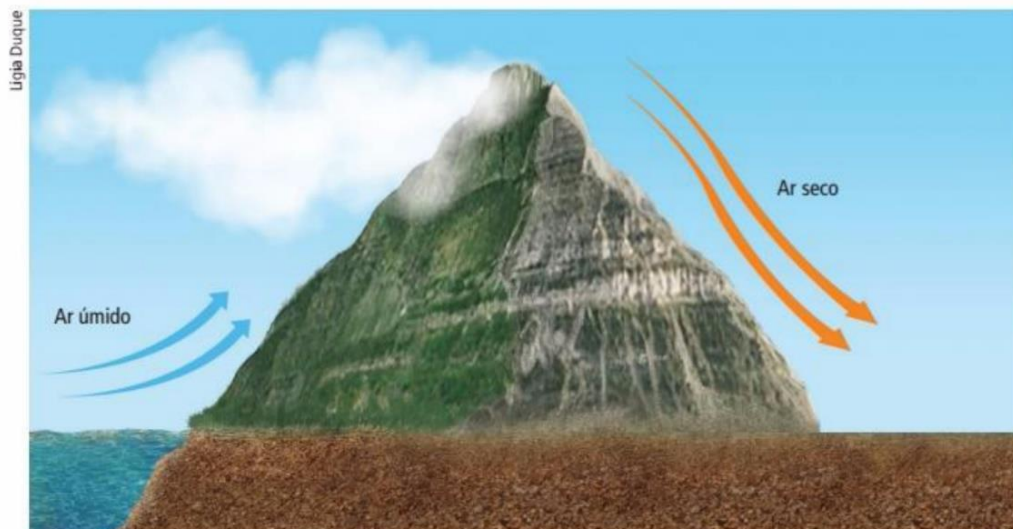


Figura 3. As montanhas afetam a distribuição das chuvas: nas encostas voltadas para o mar, ocorrem intensa precipitação — “chuvas de relevo” — e abundância de vegetação; no lado oposto, as chuvas são escassas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A altitude influencia a temperatura; por exemplo, escalar uma montanha alta equivale a se deslocar em direção ao polo, passando sucessivamente por regiões mais frias e com diferentes tipos de cobertura vegetal (**figura 4**).

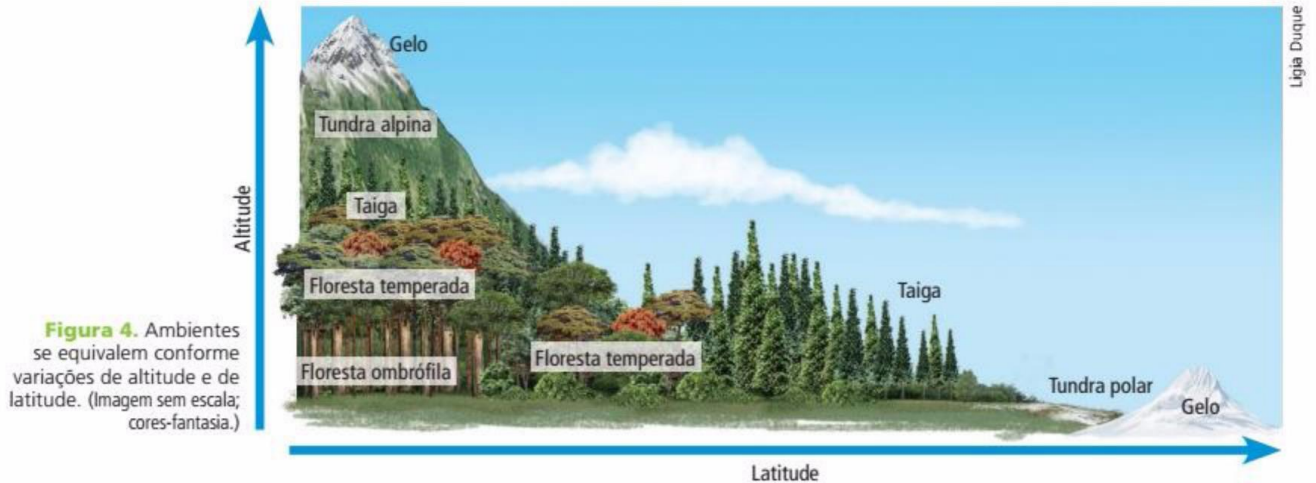
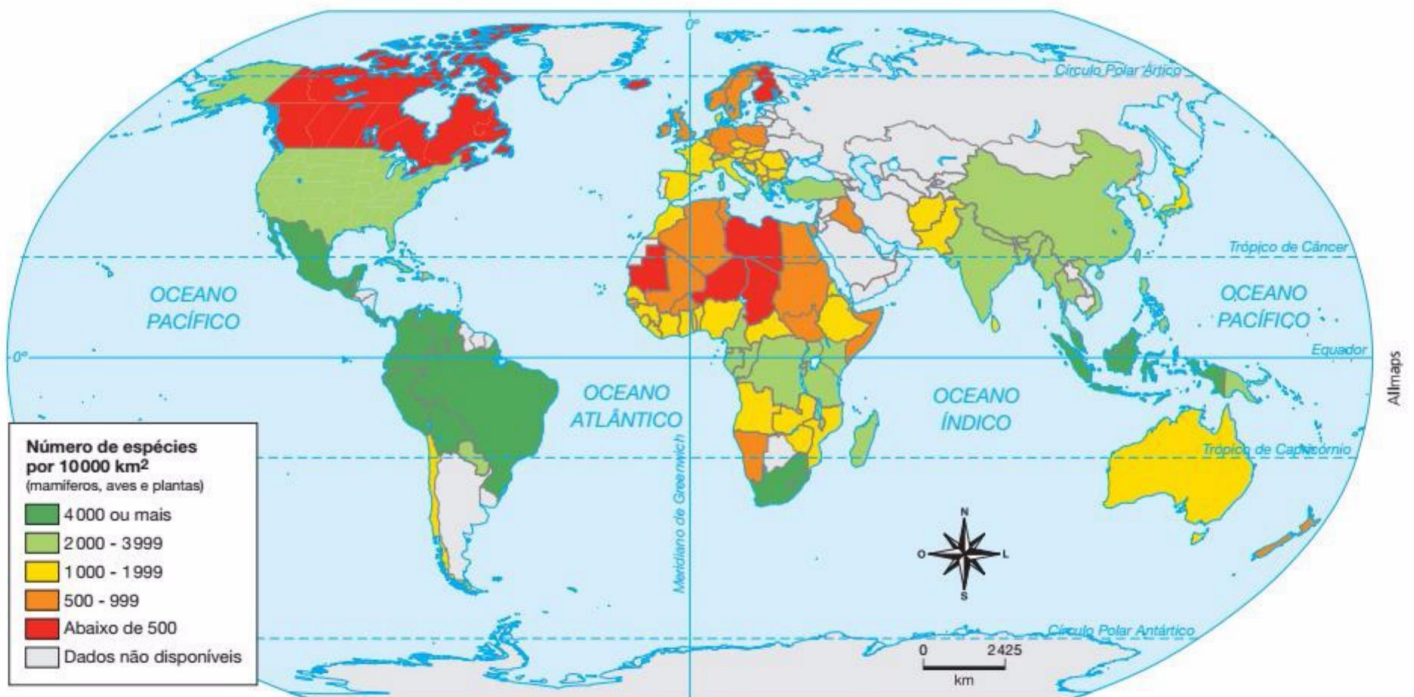


Figura 4. Ambientes se equivalem conforme variações de altitude e de latitude. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

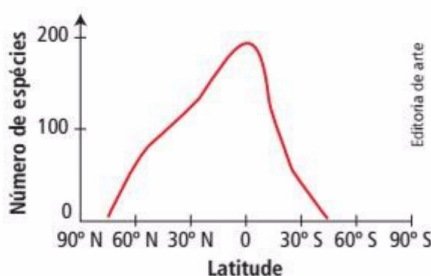
Biodiversidade

Já foram classificadas e catalogadas mais de 1,5 milhão de espécies de seres vivos, embora se acredite que existam mais de 10 milhões. Das espécies conhecidas, mais de 1 milhão são de invertebrados (principalmente insetos), 330 mil de plantas e 50 mil de vertebrados. Cerca de 60% delas estão em regiões tropicais (**figura 5**). O Brasil, a Indonésia e a Colômbia são os países com as maiores biodiversidades da Terra.



Fonte: NEBEL, B. J.; WRIGHT, R. T. *Environmental Science: the way the world works*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.

Figura 5. Países com maior biodiversidade. De todas as espécies conhecidas, mais de 10% são encontradas no Brasil.



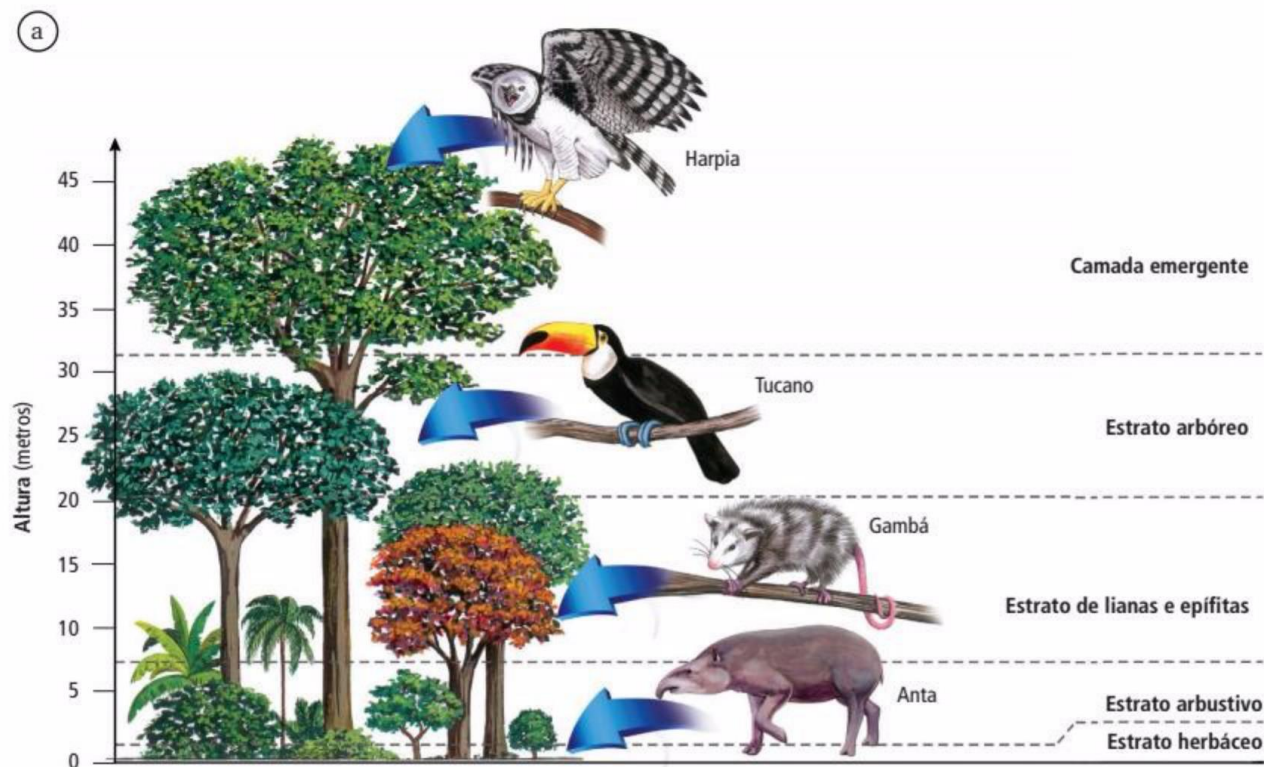
Fonte: CHIRAS, D. D. *Environmental Science*. Sudbury: Jones and Barlett Publishers, 2016.

Figura 6. Em geral, quanto mais próximo da linha equatorial, maior a biodiversidade.

Nos ecossistemas em que os fatores abióticos são favoráveis, notam-se maior quantidade de seres vivos e maior biodiversidade. Em ecossistemas próximos dos polos, por exemplo, é menor o fornecimento de energia luminosa, e as temperaturas são mais baixas, havendo menor número de espécies (**figura 6**).

▶ A riqueza em espécies aumenta dos polos em direção à linha equatorial e diminui em ambientes isolados, como ilhas, e de condições ambientais extremas, como geleiras e desertos.

Outro aspecto relacionado com a diversidade dos ecossistemas é a **estratificação vertical** (figura 7). Nos pampas gaúchos, por exemplo, encontra-se nítido predomínio de gramíneas. Imaginando-se planos horizontais passando a diferentes distâncias do solo, encontraríamos apenas uma camada de vegetação: o estrato herbáceo. Nos cerrados do Centro-Oeste brasileiro, no entanto, existem gramíneas (estrato herbáceo), arbustos (estrato arbustivo) e árvores dispersas (estrato arbóreo). Em uma floresta pluvial tropical, há maior estratificação vertical, com grande quantidade de plantas densamente agrupadas e árvores de diferentes alturas, muitas de grande porte.



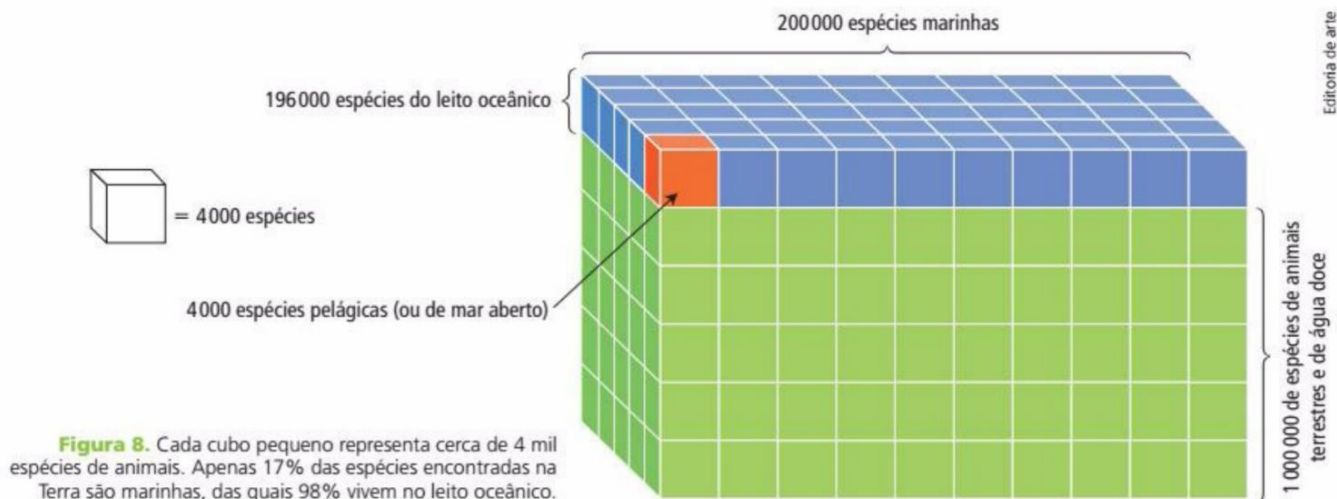
Fonte: MILLER JR., G. T.; SPOOLMAN, S. E. *Environmental Science*. Belmont: Cengage Learning, 2016.



Figura 7. (a) Representação esquemática da estratificação de habitats de diversas espécies de seres vivos em área de floresta pluvial tropical, como a Floresta Amazônica; e (b) a Mata Atlântica (Cunha, SP, 2014). (c) Nas paisagens típicas de Cerrado é possível encontrar três estratos: herbáceo, arbustivo e arbóreo (Chapada dos Guimarães, MT, 2013).

Nas florestas pluviais tropicais, entre as árvores maiores, que retêm boa parte da luz solar, crescem árvores menores. As epífitas, plantas pequenas representadas por orquídeas e bromélias, apoiam-se em árvores, ficando em posição mais favorável para a absorção de energia luminosa. O estrato das lianas, que incluem os cipós, é constituído por plantas que se apoiam em árvores e possuem raízes que se dirigem ao solo, onde penetram. Portanto, as epífitas, ao contrário das lianas, não têm ligação com o solo.

Em geral, os ambientes terrestres apresentam maior diversidade de espécies quando comparados aos aquáticos (**figura 8**).



Espécies ameaçadas no Brasil

As espécies nativas guardam informações que somente agora estão sendo reveladas. Plantas e animais são fontes de compostos que podem melhorar a qualidade de vida das pessoas, fornecendo matéria-prima à indústria, alimentos e medicamentos.

O Brasil, apesar da grande biodiversidade de mamíferos que abriga (**figura 9a**), apresenta grande número de espécies em risco de extinção, como: tatu-canastra, tatu-bola, cervo-do-pantanal, veado-campeiro, suçuarana, gato-do-mato, onça-pintada, lontra, jaguatirica, ariranha, peixe-boi, mico-leão-dourado, mico-leão-da-cara-dourada, macaco-aranha, macaco-barrigudo, mono-carvoeiro, lobo-guará, cachorro-do-mato-vinagre, cachorro-do-mato-de-orelha-curta, preguiça-de-coleira, tamanduá-bandeira, ouriço-preto, baleia jubarte. Da mesma forma, nossa extraordinária biodiversidade de aves (**figura 9b**) está ameaçada pela extinção iminente das seguintes espécies: arara-azul, arara-cinza-azulada, ararinha-azul, arara-vermelha, arara-nobre, ararajuba, papagaio-da-serra, pichochó, jaó-do-sul, besourão, pica-pau-de-coleira, pica-pau-da-cara-amarela, perdigão, macuco, socó-boi, mergulhão, jacutinga, pintor-verdadeiro, saíra-apunhalada, gavião-pombo-grande, gavião-real, anambé-de-asa-branca, tiê-coroa, cardeal-amarelo, bicudo, pavão-do-mato. São plantas vasculares brasileiras, com perfil similar no padrão de diversidade, ameaçadas de extinção: jacarandá-da-baía, peroba-rosa, jaracatiá, mogno, pau-brasil (**figura 9c**).



Fontes: INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). *Geographic Patterns*. Alemanha. 2015. WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). *The World Resources 2005 – The Wealth of the Poor*. Estados Unidos. 2005.

Figura 9. O Brasil ocupa o segundo lugar no ranking da diversidade de (a) mamíferos no mundo, (b) o terceiro no de aves e (c) primeiro no de plantas vasculares.

Biodiversidade: povos tradicionais poderão negar acesso a plantas e animais

A Lei da Biodiversidade, sancionada em maio [de 2015], prevê que comunidades tradicionais, povos indígenas e agricultores familiares possam negar o acesso de pesquisadores e representantes de indústrias ao conhecimento e a elementos da biodiversidade brasileira. De acordo com o gerente de projetos do Departamento de Patrimônio Genético do Ministério do Meio Ambiente, Henry Novion, o consentimento prévio informado será o instrumento usado para

condicionar os acessos, e no documento constarão todas as regras a serem seguidas pelos setores acadêmicos e produtivos.

[...]

Manoel da Silva Cunha é extrativista na Reserva Extrativista do Médio Juruá e diretor do Conselho Nacional das Populações Extrativistas e, de acordo com ele, a comunidade já discute alguns conhecimentos que não tem interesse em compartilhar com a indústria e a academia. [...]

Para ele, entretanto, as comunidades tradicionais e povos indígenas precisam ter autonomia e soberania sobre esse conhecimento. "Se ela [a comunidade] não quer abrir, que não sofra nenhum tipo de represália ou pressão nenhuma, que sejamos soberanos nessa decisão. Que não seja o governo que diga o que a gente abre ou não, que a lei não dê esse privilégio às empresas."

[...]

VERDELIO, A. Biodiversidade: povos tradicionais poderão negar acesso a plantas e animais. **UOL**, 31 ago. 2015. Ciência e Saúde. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2015/08/31/biodiversidade-povos-tradicionais-poderao-negar-acesso-a-plantas-e-animais.htm>>. Acesso em: fev. 2016.

No Artigo 8º, a Lei da Biodiversidade (Lei 13.123/2015) define:

[...] O Estado reconhece o direito de populações indígenas, de comunidades tradicionais e de agricultores tradicionais de participar da tomada de decisões, no âmbito nacional, sobre assuntos relacionados à conservação e ao uso sustentável de seus conhecimentos tradicionais associados ao patrimônio genético do

País, nos termos desta Lei e do seu regulamento. [...].

Já o Artigo 10º diz:

As populações indígenas, às comunidades tradicionais e aos agricultores tradicionais que criam, desenvolvem, detêm ou conservam conhecimento tradicional associado são garantidos os direitos de: (I) ter reconhecida sua contribuição para o desenvolvimento e conservação de

patrimônio genético, em qualquer forma de publicação, utilização, exploração e divulgação; (II) ter indicada a origem do acesso ao conhecimento tradicional associado em todas as publicações, utilizações, explorações e divulgações; (III) perceber benefícios pela exploração econômica por terceiros, direta ou indiretamente, de conhecimento tradicional associado, nos termos desta Lei; [...].

BRASIL. Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015. **DOU**, Brasília, DF, 20 maio 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13123.htm>. Acesso em: maio 2016.



Yanomami coletando açai na Aldeia do Ixima (Santa Isabel do Rio Negro, AM, 2011).

Atividade

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia e os artigos da Lei 13.123/2015, julgue (V ou F) as seguintes afirmativas:

- V I. A indústria química ou farmacêutica que desenvolver insumos ou medicamentos a partir de informações detidas por populações tradicionais deverá compartilhar os resultados econômicos da comercialização dos produtos com essas populações.
- F II. Comunidades ribeirinhas e quilombolas estão desobrigadas da obediência à Lei 13.123/2015.
- F III. Mediante remuneração, as comunidades obrigam-se a fornecer às universidades públicas e aos institutos de pesquisa informações referentes aos saberes tradicionais.
- F IV. Reservas indígenas convertem-se automaticamente em reservas de diversidade biológica.
- V V. O pesquisador que publicar um trabalho científico baseado em saberes tradicionais deverá informar a fonte desses saberes.

Reserva legal e áreas de preservação permanente

A diversidade de formas de vida encontradas em ambientes com vegetação nativa é consistentemente maior que em ecossistemas agrícolas. Grandes áreas de plantio requerem investimento maciço em energia, em implementos para o preparo

do solo, plantio e cultivo e em fertilizantes e defensivos. Pela homogeneidade das variedades vegetais cultivadas, acabam por constituir verdadeiros exemplos de antibiodiversidade (figura 10).



Figura 10. (a) Floresta plantada de eucalipto em Águas da Prata, SP, 2015, e (b) plantação de cana-de-açúcar em Pontal, SP, 2013.

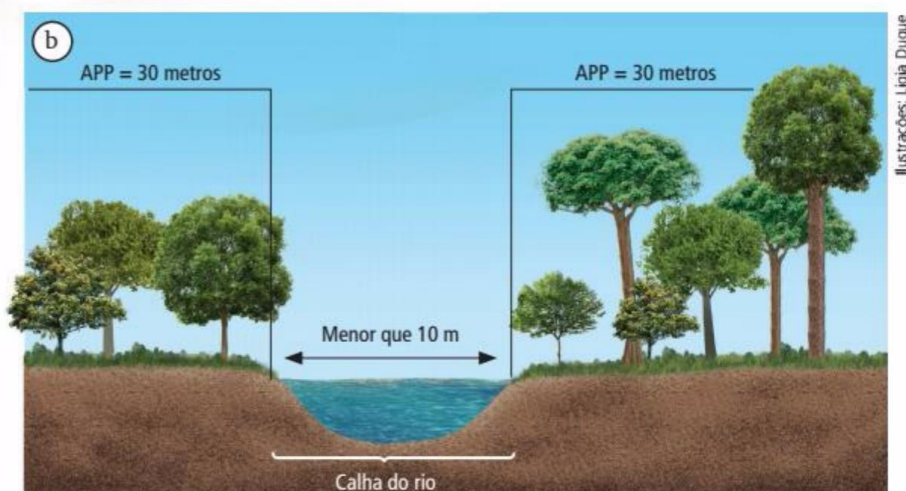
Para se preservar, ainda que parcialmente, a biodiversidade, os espaços urbanos e rurais ou aqueles destinados à ocupação ou à exploração econômica (agricultura, pecuária, mineração ou imóveis industriais, comerciais ou de outra natureza) precisam manter preservadas determinadas frações do terreno. Nas propriedades rurais brasileiras, por exemplo, é obrigatória a existência de dois tipos de áreas protegidas: as **áreas de preservação permanente (APPs)** e a **reserva legal (RL)**.

As APPs devem ser delimitadas e circunscritas. Elas não podem ser ocupadas ou exploradas por nenhuma atividade. Algumas das áreas de preservação permanente são as margens das nascentes e margens de rios, encostas e topos de morros, restingas e áreas situadas em altitudes superiores a 1800 m.

Uma das finalidades das APPs é a preservação dos recursos hídricos, pela manutenção da cobertura vegetal junto às nascentes e nas margens de rios, lagos e lagoas. Nas matas ciliares — florestas ripárias ou matas de galerias —, a cobertura vegetal ao longo das margens do rio (figura 11) reduz a velocidade do escoamento das águas das chuvas, atenuando os efeitos da erosão. Também ajuda a reter sedimentos que os terrenos vizinhos drenam para os cursos de água, evitando ou reduzindo o assoreamento. Além disso, funciona como **corredor ecológico**, permitindo que os animais circulem em busca de alimento, abrigo e parceiros sexuais, garantindo o fluxo gênico e a dispersão de pólen e de sementes.



Figura 11. De acordo com o Código Florestal Brasileiro, (a) as áreas ao redor das nascentes devem ser protegidas até uma distância de 50 m. (b) Nos rios, a dimensão da faixa de APP depende da largura do curso de água: em rios com largura inferior a 10 m, por exemplo, exige-se a proteção de faixas laterais com largura mínima de 30 m em cada margem; rios maiores devem ter faixa de proteção mais larga, podendo chegar a 500 m, para os rios com largura superior a 600 m. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)



Ilustrações: Lígia Duque

A **reserva legal** corresponde a uma área no interior das propriedades rurais destinada à cobertura vegetal nativa. Sua extensão varia de acordo com a região do país. Na Amazônia, por exemplo, os imóveis rurais localizados em regiões de floresta devem manter a RL com, no mínimo, 80% da área total da propriedade; nas áreas amazônicas de cerrados, a RL deve ocupar pelo menos 35% das propriedades; nas demais regiões, 20%.

Para que possam atuar como corredores ecológicos, as RLs e as APPs devem ser contíguas, permitindo o trânsito de animais de uma área para outra, evitando-se a fragmentação excessiva dos remanescentes florestais e a formação de enclaves isolados de vegetação nativa.

Diferentemente das APPs, as áreas de RL podem ser exploradas de forma sustentável, dentro de certos critérios, para a obtenção de recursos florestais (como madeira e essências nativas), apicultura etc.

A preservação de áreas com grande biodiversidade tem numerosas vantagens:

- Turismo ecológico: fonte promissora de recursos. No entanto, se praticado incorretamente, pode acelerar a degradação ambiental.
- Fonte de matérias-primas industriais: medicamentos, corantes, resinas e outros.
- Banco de genes: enorme potencial devido ao desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética.

Na rede mundial de computadores, alguns portais oferecem fotos de satélites. Caso julgue interessante, sugira aos alunos que procurem a região em que está a sua escola e identifiquem cursos de água conhecidos. Com ferramentas que muitos desses portais oferecem, é possível medir a largura das faixas de vegetação e verificar se a legislação ambiental está ou não sendo respeitada. Incentive-os a discutir formas de manutenção e recuperação das APPs, como aumentar a fiscalização e estimular o reflorestamento.



Ilustração: Will Murai. Design: Guilherme Matos. Texto: Gisela Silva

Fonte: CARVALHO, B. Debate sobre Código Florestal está longe de ter fim no Congresso. IG, Último segundo, jul. 2012. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/politica/2012-07-13/debate-sobre-codigo-florestal-esta-longe-de-ter-fim-no-congresso.html>>. Acesso em: abr. 2016.

Figura 12. O que diz o novo Código Florestal Brasileiro. (Imagens sem escala; cores-fantasia; mapa meramente ilustrativo.)

Biodiversidade e preservação: o papel de todos

A diversidade biológica tem que ser tratada mais seriamente como um recurso global, para ser registrada, usada e, acima de tudo, preservada. Três circunstâncias conspiram para dar a essa matéria uma urgência sem precedentes. Primeiro, o crescimento explosivo das populações humanas está desgastando o meio ambiente de forma muito acelerada, especialmente nos países tropicais. Segundo, a ciência está descobrindo novas utilizações para a diversidade biológica, que podem aliviar tanto o sofrimento humano quanto a destruição ambiental. Terceiro, grande parte da diversidade está se perdendo irreversivelmente através da extinção causada pela destruição de habitats naturais, também de forma mais acentuada nos trópicos. De maneira geral, estamos presos numa corrida. Temos que nos apressar em adquirir o conhecimento sobre o qual basear uma política sábia de conservação e desenvolvimento para os séculos que estão por vir.

Wilson, E. O. **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2005.

Conservação ambiental e desenvolvimento econômico frequentemente têm sido vistos como interesses antagônicos. A preservação da biodiversidade não é ideia fácil de vender aos países em desenvolvimento, cujas prioridades mais urgentes são alimentar, vestir, providenciar moradia e gerar emprego. Torna-se quase unanimidade a ideia de que a preservação ambiental esteja relacionada com os seres humanos tanto quanto com as plantas e os animais. Em outras palavras: projetos de conservação da biodiversidade também devem incluir melhoria da qualidade de vida das pessoas.

Apenas cerca de 2,7% do território brasileiro se encontra em reservas de conservação ambiental oficialmente protegidas. Em alguns ecossistemas (como na Caatinga, no Cerrado e no Pantanal Mato-Grossense), tal parcela é inferior a 1%. No Brasil, para alguns ecossistemas, a legislação determina que os proprietários de terra mantenham aproximadamente 20% de suas áreas como reserva nativa.

Entretanto, ao menos na Floresta Amazônica, essa não parece ser uma solução. Se metade da floresta for preservada, a outra metade perderá água para a atmosfera, submetendo-se a um processo contínuo de ressecamento, até se transformar em um bosque esparso, com significativa redução da biodiversidade.

Quando uma grande área florestal é derrubada, perde-se a ação moderadora que ela exerce sobre o clima, ocorrendo aumento da temperatura, que chega até a 3 °C na média anual. Com o aquecimento, a condensação de vapor de água na atmosfera é reduzida, diminuindo a precipitação de chuvas. As estações secas podem se tornar mais longas, dificultando ou impedindo a recuperação da cobertura vegetal original. Em áreas em que a Floresta Amazônica foi substituída por pastagens, a pluviosidade chegou a diminuir em até 25%.

O que você pode fazer?

O que cada um de nós pode fazer com base nos conhecimentos a respeito da organização dos ambientes naturais e de como são ameaçados? Certamente, não basta aguardar propostas de entidades governamentais ou imaginar que a natureza se defende.

INFORME-SE

Para ajudar a preservação ambiental, é importante conhecer os ecossistemas e as ameaças que sofrem.

REVEJA

Reveja seus hábitos e estilo de vida. Pense, a todo instante, nas consequências das atividades de sua vida cotidiana, seu trabalho e lazer.

DIVULGUE

Divulgue seus pontos de vista. É fundamental que pessoas preocupadas com questões ambientais sejam agentes multiplicadores, levando informações a quem as desconhece.

ALIE-SE

No Brasil, existem centenas de organizações não governamentais (ONGs) sérias que trabalham para a preservação das florestas, do Pantanal Mato-Grossense, das praias, das tartarugas marinhas etc.; outras se dedicam ao acompanhamento de grupos populacionais, como indígenas e seringueiros. Conheça essas organizações e, caso se interesse, participe de uma delas.

PROMOVA

Promova o engajamento de sua escola. As escolas são excelentes lugares para o trabalho, a pesquisa e a divulgação de temas de preservação ambiental. Sempre que possível, organize e participe de atividades ligadas a questões ambientais.

ACOMPANHE

Se você já é eleitor, acompanhe a postura dos candidatos que você ajuda a eleger. Não basta depositar o voto nas urnas. O candidato em que você votou dispõe de alguns anos para atuar a favor das causas em que você também acredita. Cobre dele postura coerente com aquela defendida antes das eleições.

1. Nas conferências mundiais sobre problemas ambientais, um dos assuntos mais discutidos é a preservação da biodiversidade dos ecossistemas naturais, principalmente daqueles localizados nos países mais pobres. Governos e instituições de países ricos têm, inclusive, manifestado a disposição de garantir recursos financeiros capazes de suportar projetos de conservação. Todavia, nem sempre as comunidades de países pobres estão dispostas, em troca do aporte desses recursos, a abrir mão do controle de reservas de biodiversidade e do patrimônio imaterial que a elas se associa (os chamados “saberes tradicionais”).

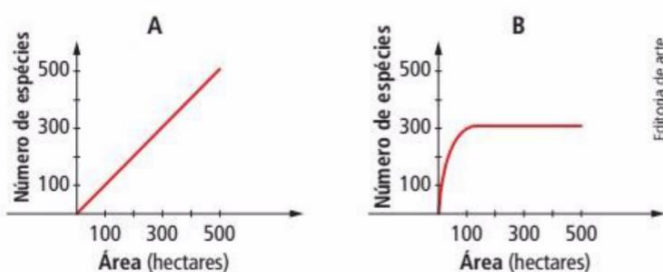
Em linhas gerais, explique a motivação de empresas e governos de países ricos em financiar projetos de preservação da biodiversidade em países tropicais pobres.

2. (UFPB) Os ecossistemas, tanto naturais quanto aqueles criados pelo homem, sofrem constantes modificações, apresentando flutuações nas densidades populacionais que podem afetar a estrutura e o funcionamento desses sistemas. Estas flutuações tendem a se tornar menos intensas em comunidades mais maduras, proporcionando maior estabilidade ambiental. A manutenção dessa estabilidade está diretamente relacionada com a sua diversidade, tanto biológica, física ou química quanto com a capacidade de assimilação dos impactos naturais ou antrópicos.

- a) Explique dois tipos de interferências humanas que estão afetando a estabilidade ambiental.
- b) Qual a importância da biodiversidade para a manutenção da estabilidade ambiental, do ponto de vista do fluxo de energia?

3. (UFC-CE) Compare os ecossistemas naturais com as monoculturas quanto ao nível de biodiversidade e susceptibilidade às pragas.

4. (UFRJ) Os gráficos seguintes representam a distribuição do número de espécies diferentes em função da área. O gráfico A refere-se a 500 hectares de uma floresta tropical e o gráfico B a 500 hectares de uma floresta temperada.



Queremos limitar uma área mínima para estabelecer uma reserva ecológica, com o objetivo de preservar todas as espécies. De acordo com os dados dos gráficos, que tamanho deveria ter a reserva em A e em B?

5. (UFU-MG) Um apicultor brasileiro deparou-se com a notícia de que a população de uma espécie de abelha nativa do Nepal estava decrescendo rapidamente com o desmatamento naquele país. Obteve, ainda, informações de que aquelas abelhas fazem suas colmeias em escarpas rochosas e que não são agressivas, tanto que a coleta do mel é feita utilizando-se apenas cordas e escadas de bambu. Esse apicultor teve a ideia de importar colmeias dessa espécie de abelha para introduzi-la em sua fazenda. Suas terras, onde a vegetação floresce o ano todo, situam-se ao pé de uma pequena serra rochosa que possui desníveis menores que os do Nepal, facilitando a coleta do mel. O apicultor acreditava poder contribuir para a pre-

servação da espécie; todavia, quando solicitou às autoridades brasileiras a importação das abelhas, seu pedido foi negado.

Apresente dois argumentos que podem ter sido utilizados pelas autoridades para justificar o parecer negativo.

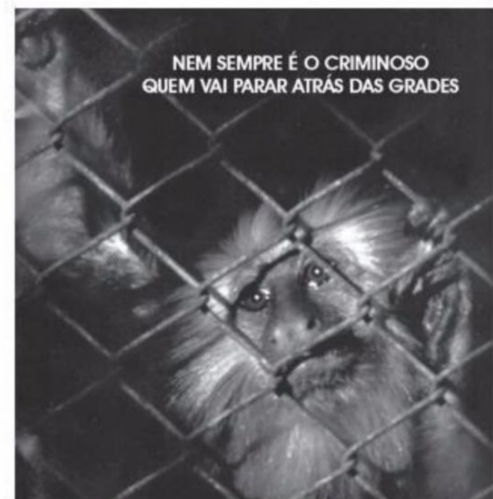
6. (Unicamp-SP)

Muitas espécies são introduzidas em um ambiente sem que haja uma avaliação dos riscos associados a essa prática. Isso tem acontecido em larga escala com peixes pelo mundo todo. A truta arco-íris já foi introduzida em 82 países, uma espécie de tilápia, em 66 países, e a carpa comum, em 59 países.

Fonte: *Ciência Hoje*, 21 (124): 36-44.

- a) Cite duas possíveis consequências da introdução de peixes exóticos em rios e lagoas.
- b) Caracterize os peixes quanto à anatomia do coração, quanto ao tipo de sistema respiratório e quanto ao tipo de sistema circulatório.

7. (Enem/MEC) A figura abaixo é parte de uma campanha publicitária.



Fonte: *Com Ciência Ambiental*, nº 10, abr. 2007.

Essa campanha publicitária relaciona-se diretamente com a seguinte afirmativa:

- a) O comércio ilícito da fauna silvestre, atividade de grande impacto, é uma ameaça para a biodiversidade nacional.
 - b) A manutenção do mico-leão-dourado em jaula é a medida que garante a preservação dessa espécie animal.
 - c) O Brasil, primeiro país a eliminar o tráfico do mico-leão-dourado, garantiu a preservação dessa espécie.
 - d) O aumento da biodiversidade em outros países depende do comércio ilegal da fauna silvestre brasileira.
 - e) O tráfico de animais silvestres é benéfico para a preservação das espécies, pois garante-lhes a sobrevivência.
8. De acordo com o Código Florestal Brasileiro, nas propriedades rurais, as áreas como as de preservação permanente (APPs) e as de reserva legal (RLs) deverão ser preservadas respeitando-se os limites estabelecidos pela nova lei, aprovada em 2012.
- a) Em que se diferenciam as APPs e as RLs?
 - b) Explique a importância da preservação das APPs e do estabelecimento dos corredores ecológicos para a manutenção e a sobrevivência dos animais.
 - c) Por que é importante que as áreas florestais preservadas (APPs e RLs) sejam contíguas?

Cultivo do eucalipto no Brasil

Ambientalistas, produtores e setores industriais têm protagonizado debates acalorados sobre o plantio de florestas com espécies exóticas (como *Pinus* e eucalipto). Em geral, argumenta-se a respeito dos potenciais efeitos do eucalipto sobre o solo, os aquíferos e a biodiversidade. No entanto, plantios de eucalipto são encontrados em diversas regiões do mundo, em diferentes latitudes, climas, altitudes e tipos de solo.

Com o propósito de enriquecer o debate, sugerimos a leitura dos textos a seguir e a busca de informações complementares em outras fontes confiáveis.

Texto 1

O paradoxo dos desertos verdes

Regina Scharf, jornalista.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Indústria Brasileira de Árvores (Ibá), os plantios florestais atingiram no Brasil, em 2014, mais de 9,3 milhões de hectares, com predomínio do eucalipto (quase 7 milhões de hectares). E esses números não param de aumentar em ritmo acelerado.

Desde a metade do século XX, quando os plantios de eucalipto no Brasil começaram a alcançar escalas nunca imaginadas, os produtores têm alardeado as supostas vantagens ambientais do negócio, como o aumento da cobertura vegetal e o sequestro de carbono.

Todavia, tanto o eucalipto como o *Pinus* (variedade de pinheiro mais utilizada em plantios comerciais) são espécies exóticas, ou seja, não são componentes dos ecossistemas naturais do país. Grandes plantações de espécies exóticas têm grandes impactos ambientais, principalmente sobre a biodiversidade, a disponibilidade de água, a qualidade do solo. Isso sem contar nas consequências sobre os direitos das populações tradicionais.

Uma das críticas mais frequentes ao eucalipto é a de que ele demanda uma imensa quantidade de água, o que pode comprometer o balanço hídrico de regiões mais áridas. Sua sede é tanta que, no século XIX, a espécie foi usada para secar brejos da Califórnia e da ilha italiana da Sicília, para combater o mosquito da malária, que usa águas paradas para se reproduzir.

Como acontece com toda monocultura, as plantações de eucalipto reduzem a quantidade de espécies encontradas por hectare; ou seja,

representam um verdadeiro achatamento da biodiversidade. Vastas áreas contínuas de plantações, que podem alcançar milhares de hectares, deixam pouco ou nenhum espaço para o desenvolvimento de cipós, arbustos e fungos. Nesse tipo de ambiente, insetos, aves e pequenos mamíferos não encontram alimento ou abrigo.

O solo também sofre com o plantio industrial do eucalipto. Essa variedade vegetal tem massa foliar menor do que a maioria das árvores de florestas tropicais; por isso, as copas não conseguem frear a queda das gotas de chuva, que acabam atingindo o solo em velocidade, arrancando e arrastando os nutrientes e provocando erosão.

Sabe-se, ainda, que o eucalipto produz óleos altamente inflamáveis. Áreas extensas de eucalipto já foram atingidas por incêndios florestais de proporções gigantescas.

Os riscos ambientais do plantio de eucalipto em larga escala tornam-se dramáticos em áreas particularmente vulneráveis do ponto de vista ambiental. É o caso do Vale do Jequitinhonha (MG), uma das regiões mais secas e pobres do Brasil. Na área, a partir da década de 1970, tanto o governo estadual quanto o governo federal passaram a incentivar a substituição da vegetação dos cerrados por plantios de eucaliptos, com a finalidade de suprir a demanda de carvão vegetal das indústrias locais de ferro-gusa e celulose. Vários estudos atribuem a essas plantações a responsabilidade pela redução do volume dos rios temporários da região, comprometendo ainda mais o abastecimento de água e a já precária qualidade de vida das populações locais.

Além dos impactos ecológicos, um triste rastro de problemas sociais tem acompanhado o avanço das plantações de eucaliptos. Um dos mais graves associa-se ao reduzido número de empregos gerados, muito inferior ao da agricultura convencional. Complica a situação o fato de a oferta de postos de trabalho estar fortemente concentrada na fase de implantação dos cultivos, que dura poucas semanas.

Outro problema é a ocorrência de conflitos com populações tradicionais, deflagrados pela busca de extensas glebas destinadas aos plantios. A virada do milênio foi marcada por um desses conflitos, que envolveu a maior produtora brasileira de eucaliptos. Além de protestos, a companhia enfrentou ações judiciais movidas por comunidades indígenas, remanescentes de quilombos e pelo Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST). Estes grupos, que se sentiam lesados pelas extensas áreas ocupadas pela empresa no Espírito Santo e na Bahia, reivindicavam terras para cultivo de alimentos. Um dos litígios, que colocou em disputa a empresa e grupos tupiniquins e guaranis, durou décadas e levou à demarcação de reserva indígena em áreas então ocupadas por eucaliptos.

Texto 2

Plantando florestas, colhendo soluções

Celso Luiz Medeiros Lima, engenheiro florestal.

Você sabe o que as páginas deste livro ou o telefone celular que pode estar em seu bolso têm a ver com o eucalipto? Tanto a celulose usada na produção do papel quanto o carvão vegetal queimado na conversão do ferro em aço são obtidos da madeira do eucalipto. Quais seriam as alternativas? Para a celulose, seria a derrubada de florestas nativas, com a consequente destruição de habitats e perda de biodiversidade; para o carvão vegetal, a opção seria o carvão mineral (ou coque), um combustível fóssil altamente poluente.

Pela fotossíntese, o eucalipto sequestra da atmosfera o carbono, que, incorporado à celulose, permanece relativamente estável; queimado como carvão, retorna à atmosfera até ser recolhido pela fotossíntese. Portanto, o efeito do plantio de eucalipto sobre o ciclo do carbono é duplamente benéfico e tem sido estimulado até pelos protocolos internacionais que buscam mitigar o efeito estufa e o aquecimento global. Sem derrubar florestas nativas e usando apenas áreas de pastagens degradadas ou abandonadas, o país tem potencial para plantar eucalipto em milhares de hectares.

Diferentemente do que se costuma dizer, o eucalipto não resseca nem empobrece o solo. O consumo de água pelos plantios em larga escala equivale a 1200 mm/ano (1200 litros/m² por ano). Como no Brasil os plantios situam-se em áreas com pluviosidade anual entre 1200 mm e 1600 mm, o efeito sobre os aquíferos é pouco significativo. Redução da disponibilidade hídrica só tem sido relatada em áreas de plantio com pluviosidade abaixo de 800 mm/ano, que devem ser evitadas.

Empobrecimento do solo é a redução da capacidade de sustentar plantas e outros seres que dele dependem. Nutrientes circulam permanentemente pelo sistema solo-planta: pelas raízes, as plantas retiram do solo os nutrientes que utilizam na formação das partes do seu corpo; quando partes são perdidas, caem e se decompõem, os nutrientes retornam ao solo. Nos ecossistemas agrícolas ou silviculturais, nem todo nutriente retorna ao solo, pois muito permanece nas partes colhidas (frutos, grãos, folhas ou madeira).

Em solos muito intemperizados (ou solos “velhos”), como os da maioria das regiões do Brasil, é baixa a capacidade de estocagem de nutrientes, que se perdem por lixiviação, volatilização e precipitação, antes que as plantas possam absorvê-los. Para evitar ou retardar o empobrecimento de solos muito intemperizados, o plantio de espécies vegetais de ciclos longos, como o eucalipto, tem preferência sobre o plantio de culturas anuais (como a soja, o algodão e o milho), que aceleram a retirada de nutrientes, sem dar tempo para que ocorra a reincorporação deles ao solo. Análises mostram que plantios de eucalipto empobrecem menos o solo que pastagens e outras culturas. Pelo contrário, os plantios têm se mostrado os sistemas que mais se aproximam das florestas nativas, porque preservam a umidade e a temperatura do solo, além de evitar sua exposição contínua e direta às chuvas e ao sol (evitando a lixiviação e a erosão). Adicionalmente, os longos períodos de cultivo favorecem a reciclagem de nutrientes.

Se o plantio de florestas preserva os solos, por que não plantar espécies nativas, preservando também a biodiversidade dos ecossistemas? Do ponto de vista estritamente ambiental, a proposta é correta; todavia, a humanidade vai continuar requerendo produtos florestais, como madeira, celulose e carvão. A exploração irracional de florestas nativas foi a principal causa de sua devastação em todo o mundo, inclusive no Brasil. Não se está propondo que os plantios de eucalipto substituam florestas nativas, que devem ser preservadas. Trata-se de discutir a destinação presente e futura de áreas já desmatadas e hoje ocupadas pela agricultura e pela pecuária, principalmente as de baixa produtividade.

Plantios de eucalipto são monoculturas, assim como as grandes plantações de cana-de-açúcar, soja, café e milho e as áreas de pastagens. Mesmo assim, o eucalipto representa vantagem. Enquanto os plantios de soja ou milho precisam ser refeitos a cada ano, com a utilização maciça de fertilizantes, defensivos e máquinas agrícolas, as áreas de eucalipto são replantadas a cada 12 ou 15 anos, o que diminui a compactação e aumenta a sustentabilidade do solo. Além disso, nas áreas de eucalipto, o solo permanece menos tempo exposto à luz, ao vento, às altas temperaturas e ao impacto direto das chuvas; ao passo que nas lavouras de ciclo curto, há mais exposição ao sol, menos umidade, mais danos à comunidade microbológica e mais desgaste do solo.

Outra acusação frequente — e incorreta — ao cultivo do eucalipto é que seria conveniente apenas para serrarias e grandes empresas produtoras de madeira, carvão e celulose, aumentando a concentração de renda e terras. Florestas plantadas são uma boa alternativa também para pequenos produtores e para a agricultura familiar, sobretudo em áreas com elevado risco de erosão. Em áreas degradadas, uma plantação de eucalipto bem implantada pode produzir, anualmente, até quatro vezes mais madeira do que a obtida pela derrubada da vegetação nativa. O pequeno produtor teria mais madeira para venda ou consumo próprio, na geração de energia, como matéria-prima na produção de carvão, na obtenção de mourões de cercas ou tábuas de serraria ou em construções.

Concluindo, a manutenção da qualidade de vida envolve atender demandas com o menor custo ambiental possível, e os grandes plantios são capazes de responder às necessidades dos tempos atuais. Não sejamos ingênuos ou hipócritas: comparada aos ecossistemas naturais (por exemplo, a um remanescente de Mata Atlântica), uma floresta plantada de eucalipto tem menor biodiversidade. Porém, no atual estágio do desenvolvimento tecnológico, como interromper o consumo de papel ou de aço? Ou, então, como obtê-los de outra maneira? Destraindo florestas nativas?

Com a ajuda da ciência podemos alcançar um desenvolvimento mais sustentável. A ecologia é uma ciência complexa. Sem conhecer, estudar e pesquisar, não se deve emitir opiniões de caráter panfletário, emocional ou especulativo. É apenas mistificação afirmar que “o eucalipto é uma árvore do mal”. Ao contrário, devemos explorar a oportunidade que ele oferece e preservar o que ainda resta dos ecossistemas naturais.

Sugira aos alunos que busquem informações relevantes sobre o tema no portal do Sistema Nacional de Informações Florestais (<http://tub.im/atec2r>), no portal do IBGE (<http://tub.im/b2vvo>) e no portal do Centro de Pesquisas Econômicas e Aplicadas da USP (<http://tub.im/t6uuf9>); acessos em: mar. 2016. Mais subsídios estão em artigo publicado pela **Revista do BNDES**, dez. 2007, disponível em: <http://tub.im/2j2khs>; acesso em: fev. 2016.

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Aponte a ideia central de cada um e identifique os principais argumentos de cada autor.
2. Os textos expressam opiniões convergentes ou antagônicas? Localize palavras e/ou frases que expressam convergência ou antagonismo.
3. Qual é sua opinião a respeito?
4. Discuta as opiniões dos autores e a sua própria opinião, confrontando-as com a dos colegas.

1. Leia a tirinha abaixo:



Garfield, Jim Davis.

Baseado em conhecimentos sobre o fluxo da matéria na natureza, explique o sentido do humor da tirinha.

2. Em algumas propriedades rurais, criam-se porcos em pocilgas (chiqueiros), cujos dejetos são lançados em represas onde se criam peixes. Um dos produtos mais comumente utilizados na limpeza das pocilgas é o creosol, substância lipossolúvel (solúvel em tecido adiposo ou gordura) que tem efeito cumulativo nos organismos e nos ecossistemas. Em uma propriedade rural, a determinação da concentração de creosol nos tecidos de alguns organismos apresentou os seguintes resultados:

Organismos	Concentração de creosol (mg por kg de tecido, valores hipotéticos)
Algas	0,07
Traíras (peixes)	12,0
Moluscos	0,60
Carpas (peixes)	0,60
Seres humanos	35,0

A partir desses dados, construa uma cadeia alimentar hipotética que inclua os organismos listados. Justifique sua proposta.

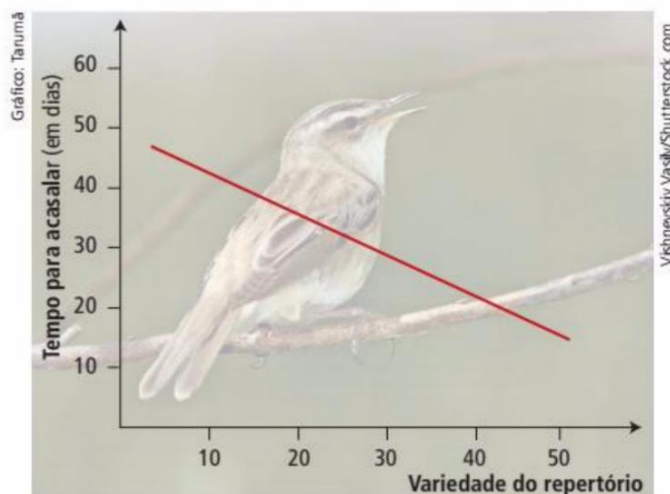
3. (Fameca-SP) A transferência de matéria e de energia em uma cadeia alimentar pode ser representada na forma de uma pirâmide. Nessa representação, a largura de cada nível trófico é proporcional à quantidade de energia do mesmo. Com relação à pirâmide de números, cada nível trófico tem a largura correspondente ao número de indivíduos.

- Faça uma representação da pirâmide de energia que tenha quatro níveis tróficos e explique o seu esquema.
- Supondo uma cadeia alimentar composta por vegetais, insetos que vivem em suas folhas e pássaros que se alimentam desses insetos, represente a pirâmide de números correspondente a essa cadeia.

4. (Unicamp-SP) A produtividade primária em um ecossistema pode ser avaliada de várias formas. Nos oceanos, um dos métodos para medir a produtividade primária utiliza garrafas transparentes e garrafas escuras, totalmente preenchidas com água do mar, fechadas e mantidas em ambiente iluminado. Após um tempo de incubação, mede-se o volume de oxigênio dissolvido na água das garrafas. Os valores obtidos são relacionados à fotossíntese e à respiração.

- Por que o volume de oxigênio é utilizado na avaliação da produtividade primária?
- Explique por que é necessário realizar testes com os dois tipos de garrafas.
- Quais são os organismos presentes na água do mar responsáveis pela produtividade primária?

5. Bandos de aves de uma espécie migratória deslocam-se anualmente entre a África e a Europa. Os machos disputam as fêmeas, e a batalha é decidida pelo canto, conforme mostra o gráfico a seguir:



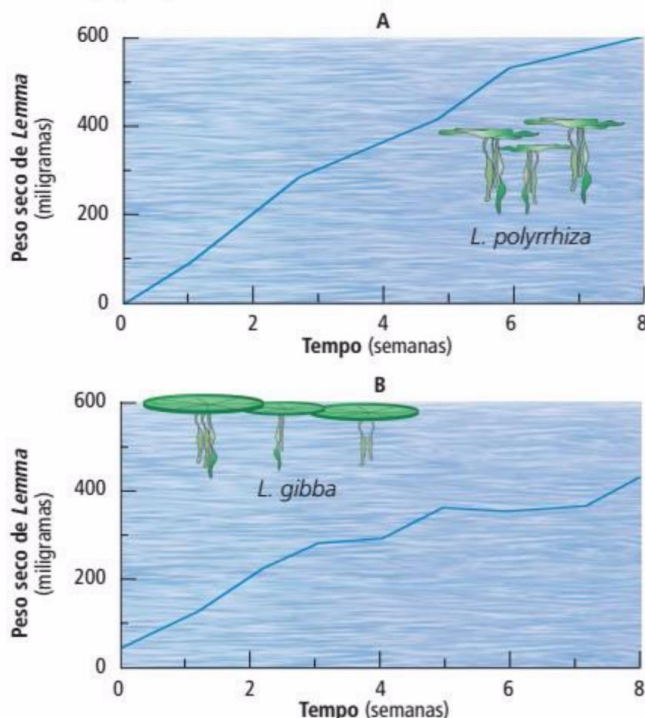
Fonte: SMITH, R. L. *Ecology and Field Biology*. New York: Harper Collins College Publishing, 1996.

Felosa-dos-juncos (*Acrocephalus schoenobaenus*, 13 cm de comprimento). A variedade do repertório corresponde à quantidade de cantos diferentes que o macho entoa.

Responda:

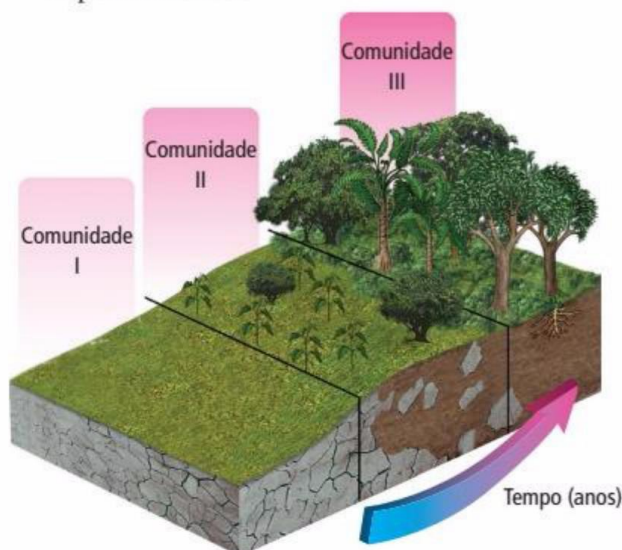
- A relação ecológica que se estabelece entre os machos é intraespecífica ou interespecífica?
- A variedade do repertório e o tempo gasto para acasalar são diretamente proporcionais ou inversamente proporcionais? Justifique.
- Um macho cujo repertório incluir 30 tipos de canto deverá demorar quantos dias para acasalar? Como você chegou a essa conclusão?
- Elabore uma hipótese que explique a vantagem adaptativa, para determinado macho, de ser um dos primeiros escolhidos para acasalamento.

6. Duas espécies de plantas aquáticas (*Lemna polyrrhiza* e *Lemna gibba*) desenvolvem-se em lagos, sendo que a primeira vive à meia profundidade e a segunda cresce na superfície. Observe os gráficos que representam o crescimento de populações isoladas dessas plantas:



Fonte: CHIRAS, D. D. *Environmental Science*. Sudbury: Jones and Barlett Publishers, 2016.

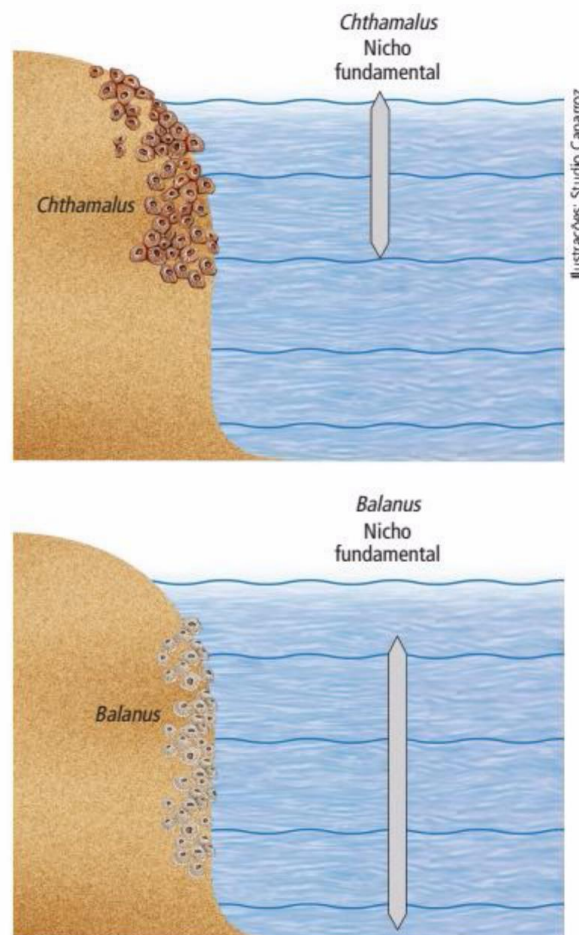
- a) Quando a população de *L. gibba* cresce muito, forma na superfície uma barreira que dificulta a penetração da luz na água. Esboce o gráfico do crescimento de populações de *L. gibba* e *L. polyrrhiza* coexistindo em um mesmo lago.
- b) O gráfico teria o mesmo aspecto se *L. polyrrhiza* e *L. gibba* competissem por nutrientes e não por luz? Justifique a resposta.
7. A ilustração a seguir mostra as alterações ocorridas ao longo do tempo em uma área que antes não havia sido habitada por seres vivos.



Com os seus conhecimentos sobre os estágios de sucessão ecológica, responda:

- a) Quais são as comunidades representadas pelos algarismos romanos?
- b) Durante a sucessão ecológica, que modificações são esperadas com relação à biomassa, à diversidade de espécies e à produtividade primária líquida?
- c) Como se caracteriza a comunidade clímax?

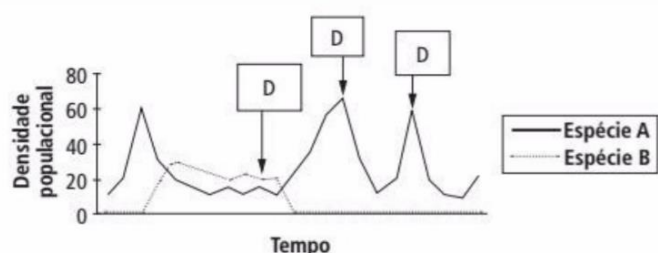
8. A figura mostra as regiões de um costão rochoso que podem ser ocupadas por crustáceos dos gêneros *Chthamalus* e *Balanus*, quando apenas um deles está vivendo nesse habitat ("nicho fundamental").



Sabendo que ambos competem por espaço e alimentos, com nítida vantagem para os indivíduos do gênero *Balanus*, responda o que se pede:

- a) Como deve ser a distribuição desses crustáceos se ocuparem, simultaneamente, o mesmo costão?
- b) Justifique sua resposta.

9. (Unicamp-SP) A espécie A é um ácaro comum em plantações de morango na Califórnia, que causa danos quando atinge densidade de 20 indivíduos por lote de morango. Pesquisadores observaram que, nos lotes de morango em que ocorria a espécie A, ocorria também outra espécie de ácaro (espécie B). Visando compreender a interação entre essas espécies, realizou-se um experimento em laboratório, no qual se introduziu a espécie B em uma criação da espécie A. Após algum tempo, os pesquisadores aplicaram um defensivo agrícola (D) na criação. Os resultados obtidos estão mostrados no gráfico a seguir.



- Tendo em vista os resultados obtidos, explique qual é a interação entre as duas espécies na natureza.
- A que se deve o aumento da densidade populacional da espécie A após a primeira aplicação do defensivo agrícola?
- Como esses resultados podem ser úteis à agricultura?

10. O tamanho de uma população é influenciado por numerosos fatores, como restrição de alimento e de espaço, clima, competição, predatismo e muitos outros. Em determinado ecossistema, foram introduzidos 100 indivíduos de uma espécie. O crescimento da população foi acompanhado e os dados estão na tabela:

Ano	Número de indivíduos
1984	100
1985	150
1986	250
1987	550
1988	1000
1989	970
1990	1020
1991	1005

- Represente em um gráfico os dados mostrados na tabela anterior.
- Explique o comportamento da população a partir de 1988.

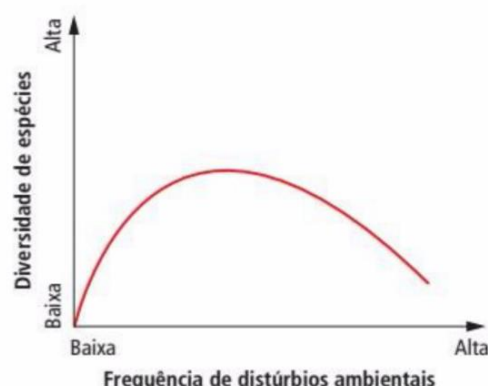
11. Até há algumas décadas, a qualidade de vida era expressa pela renda *per capita*, que é o valor do PIB (Produto Interno Bruto) dividido pelo tamanho da população. Recentemente, a ONU passou a utilizar o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), cujo cálculo leva em conta diversos fatores (renda *per capita*, indicadores educacionais e de saúde) e não só indicadores econômicos. Dessa forma, países com renda *per capita* satisfatória, como o Brasil, mostraram a verdadeira face de suas carências. Embora uma das dez maiores economias do planeta, o Brasil recebeu da ONU em 2014 um valor de IDH que o coloca na 75ª posição, atrás de Chile, Argentina e Uruguai.

País	Posição no IDH	Médicos (por 1000 habitantes)	Analfabetos (% da população adulta)
Brasil	75º	2,0	8,3
Chile	42º	1,7	1,4
Argentina	40º	2,7	2,1
Uruguai	52º	3,7	2,0

Fontes: Agência Brasil: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-12/brasil-melhora-idh-em-2014-mas-cai-uma-posicao-no-ranking-mundial>>; OECD: <<http://www.oecd.org/els/health-systems/Briefing-Note-CHILE-2014-in-Spanish.pdf>>; Indexmundi: <<http://www.indexmundi.com/map/?v=2226&l=pt>>; UOL: <<http://educacao.uol.com.br/noticias/2014/09/18/brasil-ainda-tem-13-milhoes-de-analfabetos-com-15-anos-ou-mais.htm>>. Acessos em: maio 2016.

- O Brasil tem mais médicos por 100 mil habitantes que o Chile; entretanto, sua mortalidade infantil é três vezes maior e a expectativa de vida é oito anos menor. Dê possíveis explicações para essa aparente contradição.
- Compare os índices de analfabetismo e os principais indicadores de saúde desses quatro países. A seguir, procure estabelecer correlações entre escolaridade, indicadores de saúde e qualidade de vida.

12. Analise o seguinte gráfico:



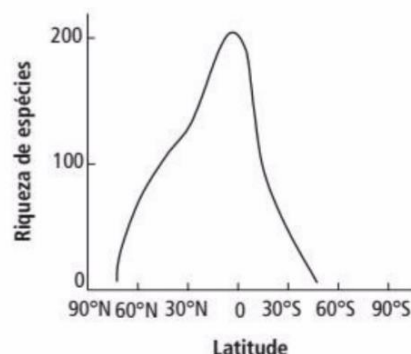
Gráficos: Editora de arte

Fonte: PERONI, N.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Ecologia de populações e comunidades. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<http://leocota.paginas.ufsc.br/files/2011/09/Livro-Ecologia-de-Populacoes-e-Comunidades.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

A seguir, responda:

- A biodiversidade é maior em ecossistemas mais estáveis ou mais instáveis?
- Elabore pelo menos uma hipótese que explique as conclusões obtidas na análise do gráfico.

13. (Unifal-MG) Com base no gráfico abaixo, que relaciona a riqueza de espécies com a latitude, foram elaboradas três afirmativas (I, II e III) a seguir:

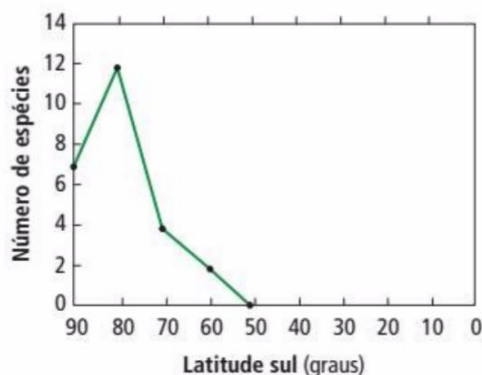
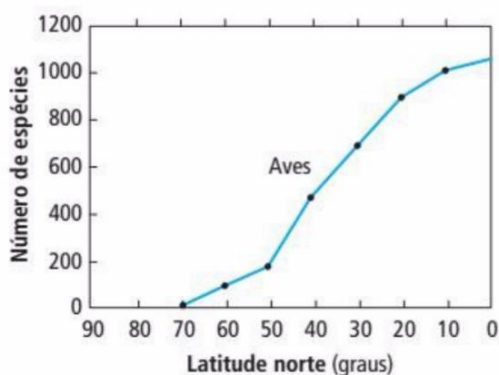
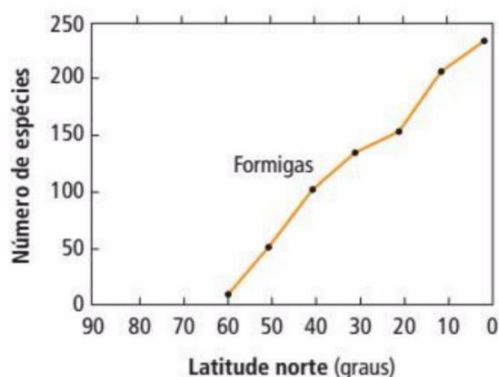
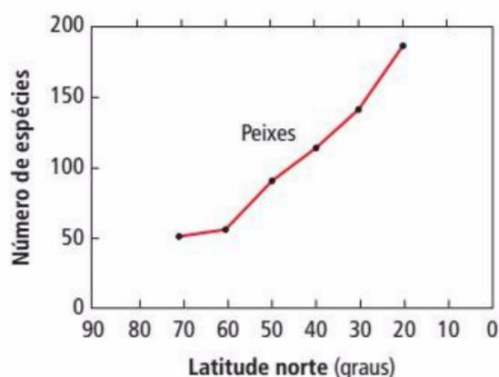


- Comparando com o Hemisfério Sul, no Norte a diversidade de espécies é menor, provavelmente causada pelos predadores.
- Nas proximidades do equador o número de espécies é maior, talvez pela maior diversidade de produtores nessa região.
- Nas latitudes 75° N e 45° S, aproximadamente, há poucas espécies, embora a quantidade de energia luminosa e de alimentos seja maior.

Analisando o gráfico, pode-se afirmar corretamente que:

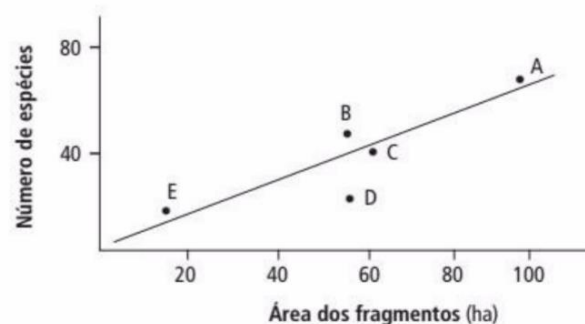
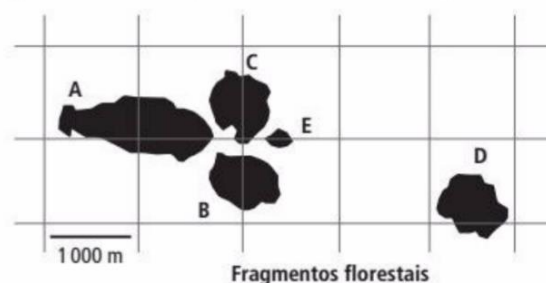
- a) apenas I está correta.
- b) apenas II está correta.
- c) apenas III está correta.
- d) apenas I e II estão corretas.
- e) I, II e III estão corretas.

14. (Unicamp-SP) Analise as figuras a seguir e responda:



- a) Qual é a relação entre o número de espécies e a latitude para cada uma das figuras?
- b) Dê um exemplo de animal cuja distribuição poderia ser atribuída à última figura.
- c) Qual dessas figuras poderia representar o número de espécies de árvores em florestas? Por quê?

15. (UFJF-MG) Analise as figuras abaixo, que apresentam a distribuição espacial de fragmentos florestais (A, B, C, D e E) com suas respectivas áreas e o número de espécies de pequenos mamíferos presentes em cada fragmento.

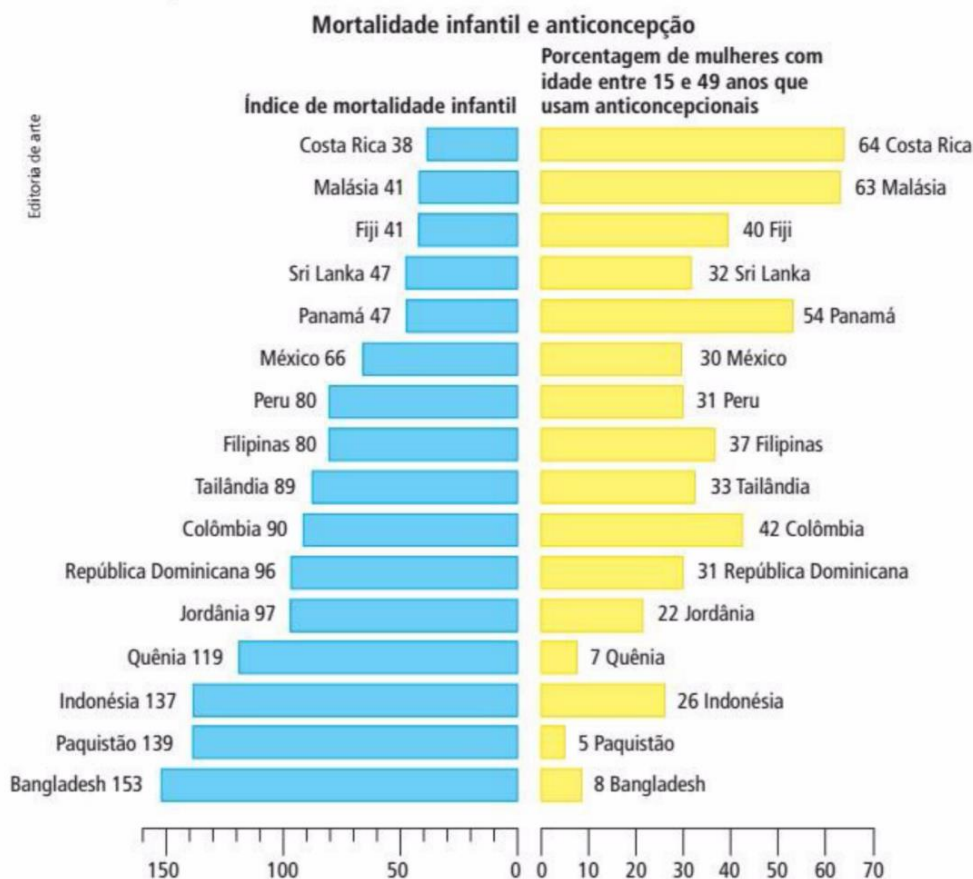


- a) Descreva a relação existente entre o número de espécies de pequenos mamíferos e os fragmentos florestais representados.
- b) Considere que, em 1980, foram soltos 25 casais de uma espécie de jaguatirica nos fragmentos florestais, conforme o quadro abaixo. O quadro mostra, também, o tamanho das populações de jaguatirica nos anos de 2001 e 2003. Analise o quadro e apresente uma explicação para a variação no tamanho da população dessa espécie nos fragmentos D e E, ao longo do período de 1980 a 2003.

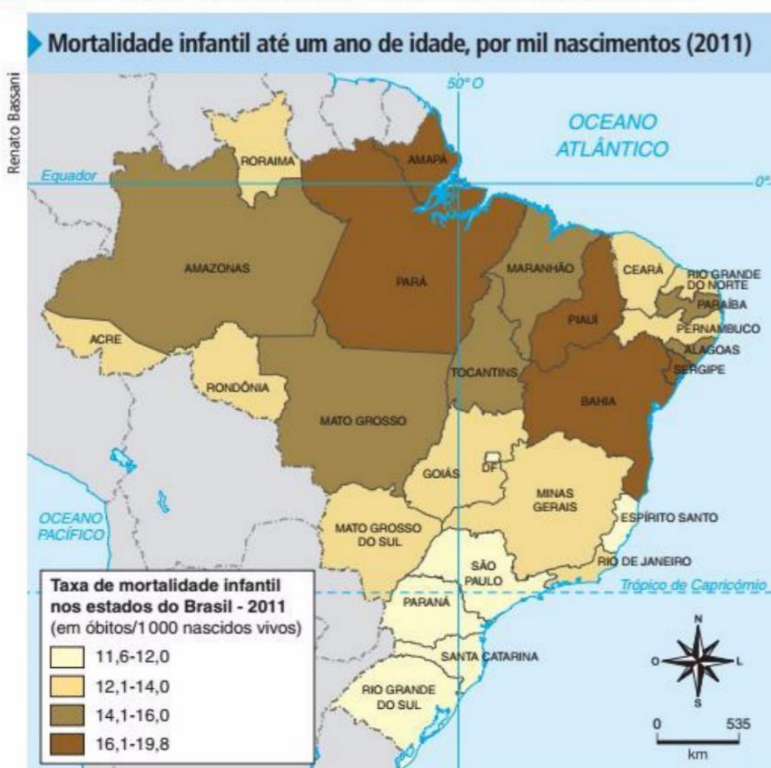
Fragmentos	Nº de casais soltos	População de jaguatirica	
	1980	2001	2003
A	10	2	65
B	5	37	36
C	5	28	29
D	5	16	14
E	0	3	4

- c) Apresente três fatores que podem levar espécies à extinção.

1. O diagrama a seguir relaciona a taxa de mortalidade infantil e a porcentagem de mulheres com idade entre 15 e 49 anos que utilizam algum método anticoncepcional.



- a) Que conclusão você pode obter na análise do diagrama sobre a relação entre o uso de anticoncepcional e a taxa de mortalidade?
- b) Elabore pelo menos uma hipótese válida que justifique essa conclusão.
2. Observe o mapa abaixo e indique qual é a alternativa incorreta:

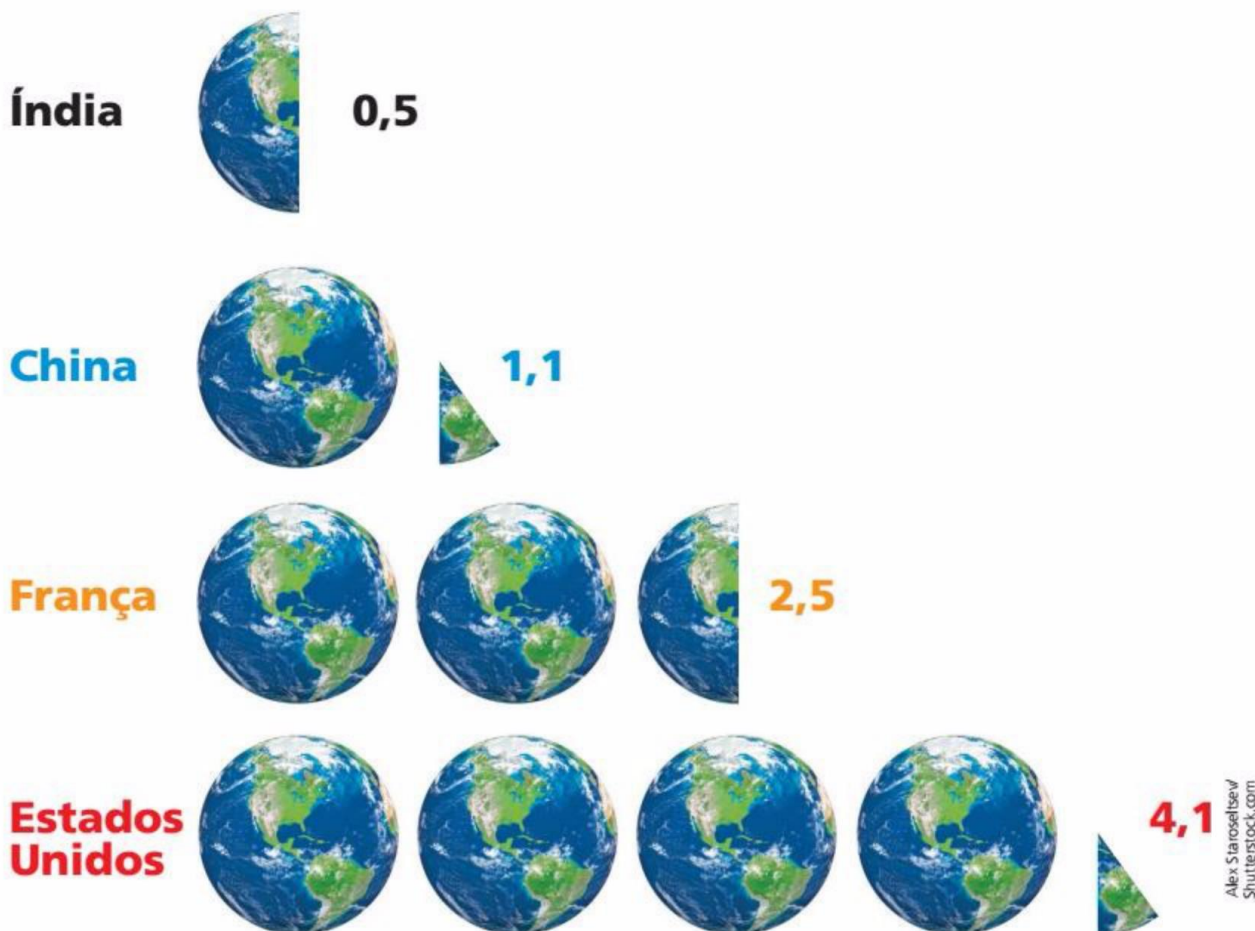


- a) Os estados com os maiores índices de mortalidade infantil encontram-se no Norte e no Nordeste.
- b) Entre os estados do Sudeste, Rio de Janeiro e Minas Gerais são os que apresentam os maiores índices de mortalidade infantil.
- c) Os estados da região Sul exibem índice de mortalidade infantil equivalente ao de São Paulo.
- d) Todas as unidades da federação localizadas na região Centro-Oeste possuem índices de mortalidade infantil equivalentes.
- e) De acordo com os índices de mortalidade infantil, os estados da região Norte classificam-se em três categorias.

Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Indicadores sociais: coeficiente de mortalidade infantil. Disponível em: <http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=814&cod_menu=811&tipo_menu=INDICADORES&cod_conteudo=1426>. Acesso em: mar. 2016.

3. Cada uma das imagens mostra a área necessária para fornecer todos os recursos requeridos, caso os mais de 7 bilhões de habitantes da Terra tivessem o mesmo padrão de consumo que a população de quatro países selecionados.

Se toda a população mundial vivesse como...



Interprete os dados das imagens, levando em consideração o conceito de sustentabilidade ambiental.

4. Leia a tirinha a seguir:



A analogia que a personagem faz entre o organograma e uma cadeia alimentar dá a entender que:

- (01) ela ocupa uma posição hierarquicamente superior.
- (02) ela considera o mundo do trabalho corporativo bastante competitivo.
- (04) ela não entende de Biologia, pois desconhece o que é cadeia alimentar.
- (08) os que estão em posição inferior, no organograma, correspondem, em uma cadeia alimentar, aos consumidores de terceira ou de quarta ordem.
- (16) nessa empresa não existem diferenças entre os ocupantes dos diversos níveis do organograma, que permanecem em equilíbrio, como os componentes da natureza.
- (32) sua empresa não preza a boa relação entre os diferentes níveis hierárquicos.

Dê a soma das afirmativas corretas.

Soma: 01 + 02 + 32 = 35

5. Leia o texto e observe as imagens.

Em períodos de estiagem prolongada e capim escasso no Nordeste brasileiro, é comum o gado bovino ser alimentado exclusivamente com as partes comestíveis do caule suculento de uma cactácea da espécie *Opuntia ficus*, conhecida como palma forrageira. Trata-se de uma planta originária do México, onde a produtividade chega a 400 toneladas de raquetes (o nome popular das partes comestíveis) por hectare, contra apenas 40 toneladas, no Brasil, onde é cultivada desde a década de 1930. As raquetes acumulam bastante água (cerca de 90% da massa), além de serem ricas em carboidratos, ferro e vitamina A.

Também originária do México, a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius coccus*) é um pequeno inseto do qual se extraía o carmim, corante natural usado em produtos alimentícios (como carnes em conserva). O cultivo desse inseto, no entanto, vem sendo abandonado depois da descoberta dos corantes sintéticos. Com a perda da utilidade, a cochonilha passou a representar apenas um problema — e dos grandes — porque se reproduz com rapidez e alimenta-se de partes de diversas plantas, inclusive do caule da palma forrageira, que chega a morrer nos casos de ataque maciço.

No Nordeste há uma tática de “guerra biológica” contra a cochonilha. Os combatentes usados para defender a palma forrageira são as joaninhas, insetos da ordem dos coleópteros, que se alimentam de cochonilhas.

A estratégia tem demonstrado excelentes resultados. Criadas em estufas, as joaninhas são soltas nas lavouras de palma forrageira, reduzindo drasticamente a população de cochonilhas, mesmo nos casos de infestação maciça. A vantagem sobre os métodos convencionais, baseados na aplicação de inseticidas, é a redução dos custos e a ausência de efeitos danosos sobre o gado que se alimenta da palma forrageira.

Depois de ler o texto, em dupla, façam o que se pede.

- Que tipo de relação ecológica existe entre joaninhas e cochonilhas? E entre cochonilhas e o gado?
- Montem uma teia alimentar que inclua capim, palma forrageira, gado, cochonilhas, joaninhas, seres humanos e decompositores.
- Desenhem uma pirâmide de números correspondente à cadeia alimentar formada por palma forrageira, cochonilhas e joaninhas.

6. Conheça, a partir de quatro textos, importantes interações entre espécies de animais no Brasil.

Conexões brasileiras: preguiça, harpia, onça e jacaré

As preguiças, ou bichos-preguiça, são mamíferos exclusivos das Américas Central e do Sul. Atualmente, existem seis espécies, das quais apenas uma, *Bradypus pygmaeus*, não ocorre no Brasil [...].

As preguiças são divididas pelos cientistas em dois gêneros: *Choloepus* (duas espécies) e *Bradypus* (quatro espécies). A diferença básica entre estes dois grupos está nas mãos: o primeiro tem dois dedos em cada mão, e o segundo grupo tem três. [...]

Bradypus variegatus, a preguiça-de-garganta-marrom ou preguiça-marmota ocorre em diversas localidades entre Honduras, na América Central e boa parte da América do Sul, até o sudeste do Brasil. [...]

Bradypus variegatus pode apresentar atividade tanto diurna quanto noturna. Assim como todas as demais espécies de preguiças atuais, vive em regiões florestadas, tem hábitos arborícolas e é herbívora, alimentando-se de brotos e principalmente folhas. [...] A dieta principal da preguiça-de-garganta-marrom são plantas da família Moraceae, da qual fazem parte árvores como a figueira, gameleira e o mata-pau. Existe uma crença de que as preguiças se alimentam principalmente de folhas de embaúba (*Cecropia*), o que não é verdade. O fato é que é muito mais fácil vermos uma preguiça sobre uma embaúba do que em árvores com mais galhos e folhagem mais densa.

Como são muito lentas, as preguiças não fogem dos predadores, mas os enganam! Sua baixa mobilidade, somada à coloração de seus pelos, contribuem para uma boa camuflagem em meio à vegetação das florestas [...]. Esta camuflagem é ainda mais reforçada pelas algas que frequentemente crescem sobre sua pelagem, dando algumas vezes ao animal uma cor esverdeada. [...].

COSTA, H. C. Bicho da vez – Preguiça-de-garganta-marrom.

Museu de Zoologia João Moojen, da Universidade Federal de Viçosa (MG).

Disponível em: <www.museudezoologia.ufv.br/bichodavez/edicao18.htm>. Acesso em: mar. 2016.



Mark Williamson/Getty Images



Ivan Marjanovic/Shutterstock.com

(a) Palma forrageira atacada pela cochonilha (3 mm de comprimento); (b) joaninha (5 mm de comprimento).

Fabio Colombini



Preguiça-de-garganta-marrom (*Bradypus variegatus*, 60 cm de comprimento).

No solo, sob ninhos de harpia (ou gavião-real, *Harpia harpyja*), pesquisadores coletaram 21 crânios, ao longo de 15 meses, sendo 20 pertencentes a duas espécies de preguiça (*Choloepus didactylus* e *Bradypus variegatus*) e uma de marsupial (*Philander opossum*). Outros trabalhos apontam a preguiça como a principal presa da harpia, chegando a 36% da dieta.

Outros pesquisadores estudaram a dieta da harpia em cinco ninhos na região do médio Amazonas. As espécies consumidas foram *Bradypus variegatus*, *Choloepus didactylus*, *Callcebus hoffmannsi*, *Cebus apela*, *Chiropotes albinasus*, *Pithecia irroata*, *Coendou koopmani*, *Didelphis marsupialis*, *Potos flavus* e *Ara chioptera*. As preguiças foram as presas mais importantes na dieta da harpia, contribuindo com 86% da biomassa total estimada de presas consumidas.

Harpia harpyja. The Peregrine Fund. **Global Raptor Information Network**. Disponível em: <<http://globalraptors.org/grin/SpeciesExtended.asp?specID=8040&catID=2005>>. Acesso em: mar. 2016. (Tradução nossa.)

Harpia (*Harpia harpyja*, 1 m de comprimento).



Fabio Colombini

A onça-pintada (*Panthera onca*) é o maior felino das Américas e o predador do topo da cadeia alimentar nos ecossistemas em que habita, exercendo função importante na manutenção da estrutura e no funcionamento destes ambientes. [...]

[Em um estudo] foram identificadas seis espécies de presas silvestres e um gado doméstico a partir de 29 fezes de onça-pintada e 10 carcaças. Nas fezes, foram identificadas 40 presas individuais. [...]

As espécies de presas encontradas [...] foram o jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*), a preguiça-bentinho (*Bradypus variegatus*) e o guariba (*Allouata seniculus*). Os dois principais grupos de presas da onça-pintada [...] foram os jacarés [...] e os mamíferos arborícolas [...]. Mamíferos terrestres e peixes não foram observados na amostra. [...]

As carcaças de presas abatidas por onça-pintada foram de espécies frequentemente encontradas nas fezes. Foram identificados cinco jacarés-tinga, dois jacarés-açu, duas preguiças-bentinho e uma marreca (*Dendrocygna autumnalis*) [...].

RAMALHO, E. E. **Uso do habitat e dieta da onça-pintada (*Panthera onca*) em uma área de várzea, Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazônia Central, Brasil.** Dissertação (mestrado): INPA/UFAM. Manaus, jan. 2006. Disponível em: <http://www.mamiraua.org.br/cms/content/public/documents/publicacao/1fc0802d-6f36-4028-bb16-57932a485f87_dissertacao_3.%20RAMALHO.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

Christian Vinces/Shutterstock.com



Onça-pintada (*Panthera onca*, 2 m de comprimento).

Entre os crocodilianos brasileiros, o jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*) é o encontrado com maior frequência. Vivendo normalmente em rios, córregos e lagoas, às vezes ocupa tanques de criação de peixes ou mesmo os cursos de água de áreas urbanas. Os animais jovens alimentam-se de invertebrados aquáticos (moluscos, crustáceos e insetos), enquanto os jacarés adultos se alimentam preferencialmente de vertebrados (peixes, anfíbios, répteis, aves aquáticas e pequenos mamíferos). Dessa forma, a ação predatória do jacaré-tinga ajuda a controlar as populações de piranha.



De Agostini/G. SIDER/Getty Images

Jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*, 2,20 m de comprimento).

Depois de ler os textos, responda:

Nos casos apresentados, identifique pelo menos um caso de:

- | | | |
|----------------|---------------------|----------------|
| a) predação; | c) protocooperação; | e) camuflagem. |
| b) competição; | d) herbivoria; | |

7. Considerando a existência de produtores aquáticos (algas e plantas), monte uma teia alimentar que inclua pelo menos quatro animais citados nos textos da atividade 6.

Biosfera e ação humana

Grandes paisagens naturais

Fabio Colombini



As flores do pequi abrem-se entre agosto e novembro, época de seca no Centro-Oeste do Brasil. "Pele com espinhos", significado do nome "pequi" em tupi-guarani, é uma referência a uma conhecida característica desse fruto, que exige cuidado ao ser consumido.



A flor do pequizeiro

Os Cerrados formam o segundo maior bioma brasileiro em extensão, cobrindo mais de 22% do território do país, e neles estão as principais nascentes de três grandes bacias hidrográficas: Amazônica, do São Francisco e do Prata. Com rica biodiversidade e alta taxa de endemismo, estão à mercê de numerosas ações antrópicas, associadas principalmente à expansão das fronteiras agrícolas em estados do Centro-Oeste e nos estados da Bahia e do Tocantins.

Entre as espécies que marcam a fisionomia dos Cerrados, destacam-se o pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) e seus apreciados frutos, consumidos *in natura*, em conserva ou em pratos típicos da culinária local (como o arroz de pequi). A respeito dessa planta, a sabedoria tradicional de povos indígenas da região diz que quando a flor de pequi aparece não é mais época de colocar fogo nos Cerrados.

Essa afirmação soa estranha, pois estamos acostumados a ver o fogo sempre como um risco à vegetação nativa, independentemente da época do ano. De fato, ele é uma ameaça, se usado indiscriminadamente; entretanto, populações tradicionais brasileiras (indígenas ou não) reconhecem a relação íntima entre o fogo e o Cerrado e utilizam queimadas controladas como estratégia de preservação desse ambiente.

No texto “O incendiador de caminhos”, o escritor Mia Couto fala de seu insucesso ao tentar convencer os moçambicanos a abandonar o hábito de colocar fogo nas savanas por onde passam, ao caminhar por longas distâncias. Para eles, trata-se de uma forma de aumentar a segurança durante as longas jornadas a pé, afugentando animais, evitando emboscadas e mapeando os caminhos. Poeticamente, Couto dá a essa tradição o nome de “cartografia do fogo”.

O fogo sempre foi visto como um fenômeno destrutivo de alto impacto, mas em certos ambientes ele é parte do ciclo natural. Nas Savanas (na África ou no Cerrado brasileiro), as queimadas estão incorporadas à dinâmica dos ambientes, de tal maneira que sua falta pode ser danosa. As queimadas podem manter a quantidade de gramíneas em nível controlado, evitando que aumentem a ponto de competir com a

vegetação arbustiva ou arbórea. Por sua vez, muitas sementes só germinam depois de submetidas ao fogo.

Entre os pesquisadores, há controvérsia quanto ao uso controlado das queimadas no manejo e preservação do Cerrado, um bioma ameaçado pelo rápido processo de ocupação. Utilizadas para abrir fronteiras agrícolas, as queimadas em larga escala, sem controle e em épocas inapropriadas, causam perda de nutrientes, erosão e compactação do solo. No entanto, a eliminação total das queimadas também representa risco, pois o acúmulo de biomassa, associado à baixa umidade nos períodos de seca, facilita a ocorrência de incêndios de grandes proporções, que aumentam muito a temperatura e prejudicam a comunidade (particularmente os microrganismos do solo).

Populações tradicionais que habitam áreas de Cerrado provocam queimadas de manejo com diversas finalidades: eliminação do excedente de capim seco e prevenção de incêndios de grandes proporções; atração de animais para a caça pelo estímulo à rebrota da vegetação herbácea e ao aparecimento de folhas verdes; estímulo à floração e à frutificação de certas plantas; facilitação do acesso aos recursos naturais pela redução do estrato arbustivo.

Ao longo de milhares de anos, essas populações desenvolveram estratégias aparentemente mais adequadas e menos agressivas, como as queimadas de áreas em regime de rodízio, a cada três ou quatro anos, e somente nas épocas mais úmidas (em geral, de janeiro a junho).

É importante destacar, no entanto, que a utilização do fogo por essas populações sempre teve a finalidade de melhorar as condições da própria sobrevivência, sepultando o mito de ambientes naturais como paisagens intocadas.

Mesmo as áreas preservadas de Cerrado, Floresta Amazônica, Mata Atlântica e outros biomas são fruto da interação milenar e indissociável entre ecossistemas e populações humanas. Há cerca de 200 mil anos, o *Homo sapiens* é um componente dos ecossistemas; a paisagem típica do Cerrado resulta dessa interação.

Ecosistemas e biomas

Os ecossistemas incluem componentes vivos (fatores bióticos) e não vivos (fatores abióticos) de um determinado ambiente, os quais interagem permanentemente, mantendo um estado de equilíbrio dinâmico (homeostase).

Um recife de coral (**figura 1a**), uma floresta (**figura 1b**) e um deserto (**figura 1c**) são exemplos de ecossistemas, nos quais os seres vivos interagem entre si e com os fatores abióticos.



Figura 1. Três ecossistemas: (a) recife de coral (Cairu, BA, 2015); (b) Floresta Temperada (Aragão, Espanha, 2014); e (c) Deserto (Arizona, Estados Unidos, 2013).

Entre ecossistemas vizinhos, há uma região de transição, denominada **ecótono**, que apresenta espécies dos dois ecossistemas, além de espécies próprias (**figura 2**).

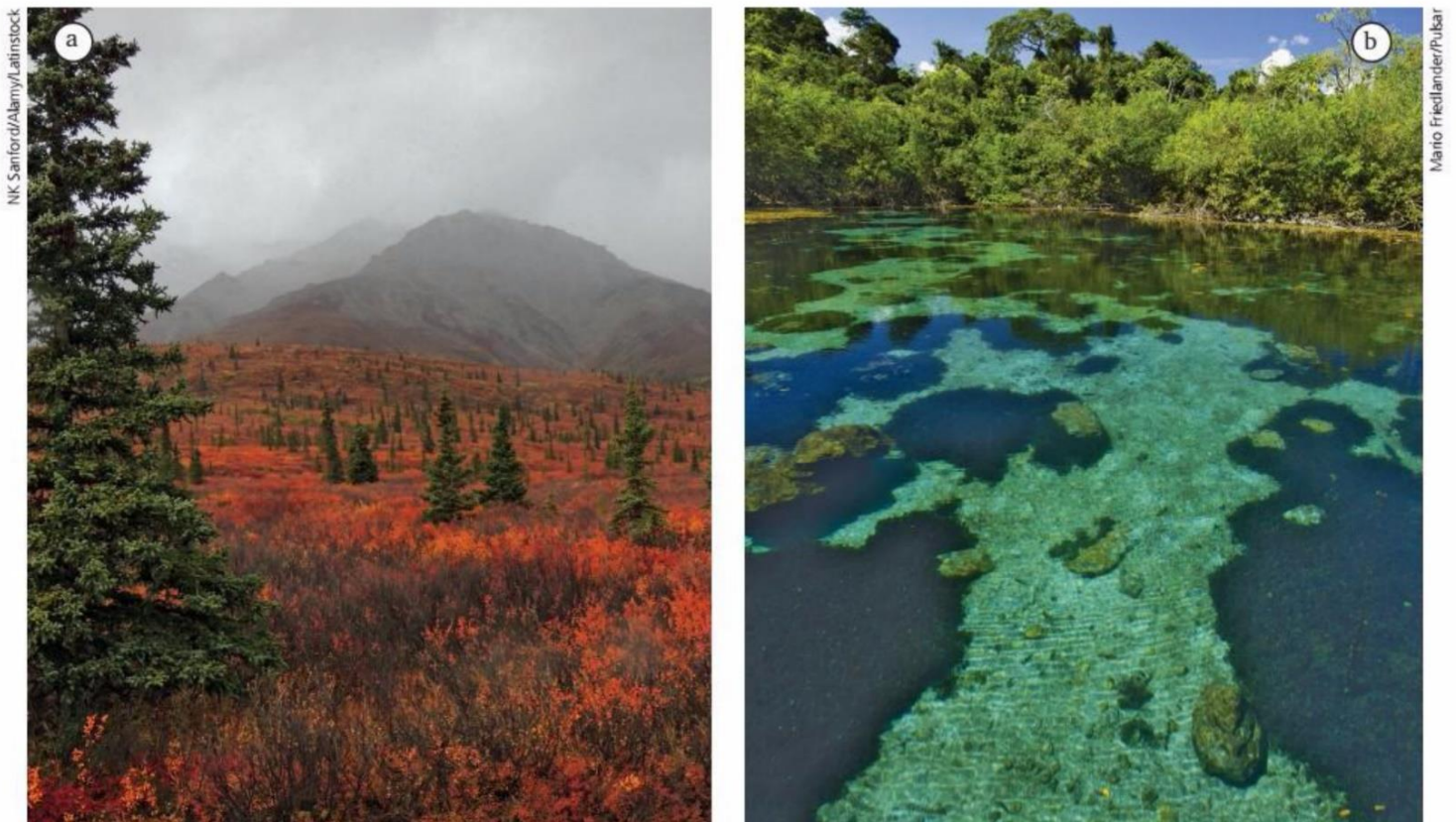
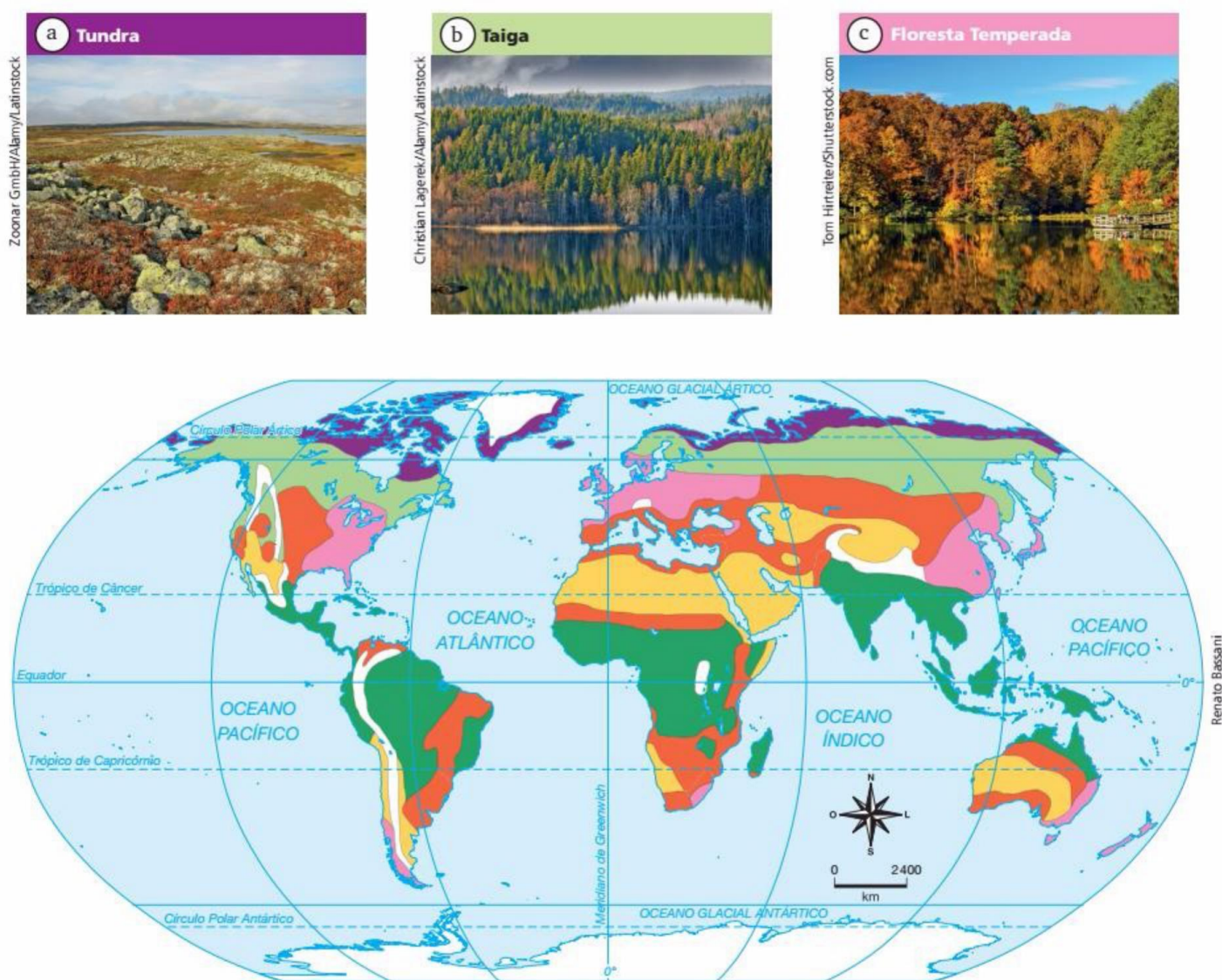


Figura 2. Em (a), transição entre Floresta de Coníferas e Tundra (Alasca, Estados Unidos, 2014). Em (b), transição entre a Floresta Amazônica e uma lagoa (lagoa Azul na Reserva Indígena Kayabi, Apiacás, MT, 2010).

Cada fração da biosfera, de grande extensão e com uma comunidade típica (principalmente a vegetação), produto de condições ambientais peculiares, constitui um **bioma**, que apresenta aspecto relativamente uniforme. Os biomas são ocupados por **comunidades clímax**, cujas características se relacionam com os fatores abióticos da região (clima, altitude, topografia, características do solo e outros), que influenciam o tipo de vegetação e, conseqüentemente, os demais seres vivos. Os mais importantes **determinantes climáticos** do padrão de vegetação de um bioma são a **temperatura** (que em geral diminui com o aumento da latitude e da altitude), a **pluviosidade** (quantidade de chuvas), a **umidade** e a intensidade e direção dos **ventos**.

Os principais biomas terrestres são: a Tundra, a Taiga, as Florestas Temperadas, as Florestas Ombrófilas, as Formações Herbáceas e os Desertos (**figura 3**).

A distinção entre bioma e ecossistema é controversa, havendo autores que sobrepõem os conceitos.



Fonte: REECE, J. B. et al. *Campbell Biology – Concepts & Connections*. New York: Pearson, 2015.



Figura 3. Localização dos principais biomas da Terra. Em destaque, aspecto da vegetação de cada área: (a) Tundra na Suécia, 2014; (b) Taiga no sudeste da Suécia, 2014; (c) Floresta Temperada nos Estados Unidos, 2013; (d) Floresta Ombrófila em Madagascar, 2014; (e) Savana no Quênia, 2015; (f) Deserto do Atacama no Chile, 2015. No mapa, as áreas em branco correspondem às regiões de grande altitude ou polares.

► Tundras

As Tundras (**figura 3a**) localizam-se próximas ao Polo Norte, em altas latitudes da América do Norte (Alasca e Canadá), da Europa e da Ásia.

Os invernos nesses locais são longos, com dias curtos; os verões são curtos, com dias longos. Embora a precipitação pluviométrica seja baixa, a topografia plana favorece a formação de lagoas rasas.

O solo, pobre em nutrientes, tem uma camada permanentemente congelada, denominada *permafrost*, a cerca de 50 cm da superfície, o que dificulta o desenvolvimento de plantas com raízes profundas.

Nas Tundras, encontram-se musgos, líquens, alguns tipos de gramíneas e de arbustos. Nelas habitam animais como lemingues, raposas-do-ártico, doninhas, bois-almiscarados e aves migratórias. É pequena a diversidade de animais ecotérmicos.

► Taigas

Em regiões da América do Norte, da Europa e da Ásia, as Taigas (**Florestas Boreais** ou **Florestas de Coníferas**, **figura 3b**) encontram-se, em geral, em menores latitudes em relação às Tundras. Os invernos são rigorosos e os verões, mais quentes e longos do que nas Tundras. A pluviosidade é baixa, e o solo congela-se parcialmente durante o inverno.

O nome Florestas de Coníferas deve-se ao predomínio de pinheiros. Também há musgos, samambaias, pequenos arbustos e árvores do grupo das angiospermas (plantas com frutos), como faias e bétulas.

Durante os meses mais frios, torna-se difícil a absorção de água pelas plantas por causa do congelamento do solo (fenômeno denominado **seca fisiológica**). Entre os animais, encontram-se caribus, alces, lincês, vários tipos de roedores, de insetos e de aves migratórias e algumas espécies de répteis e de anfíbios.

► Florestas Temperadas

Localizam-se em áreas de clima temperado, entre os trópicos e os círculos polares (**figura 3c**). São encontradas, por exemplo, no nordeste e no meio-oeste dos Estados Unidos e em partes da Europa e da China. Apresentam quatro estações bem definidas. A superfície do solo é rica em matéria orgânica. As plantas dominantes são angiospermas (como faias, carvalhos, bétulas e bordos), mas também há gimnospermas (como sequoias, que estão entre as árvores mais altas do mundo). Muitas delas perdem as folhas no outono (plantas **decíduas** ou **caducifólias**).

As árvores permitem a chegada de luz ao solo e o desenvolvimento de vegetação rasteira. Os animais mais comuns são veados, ursos, pequenos mamíferos e pássaros, além de insetos, anfíbios e répteis.

► Florestas Ombrófilas

As Florestas Ombrófilas (ou **Florestas Pluviais Tropicais**) constituem um dos biomas mais produtivos da Terra. Localizam-se em baixas latitudes (próximas à linha do equador), incluindo áreas das Américas Central e do Sul, África, Austrália, Índia e outras regiões da Ásia (**figura 3d**). A energia solar abundante determina temperaturas altas ao longo do ano, com pluviosidade elevada. O solo, pouco espesso, é coberto por abundante matéria orgânica em decomposição (principalmente folhas caídas).

A quantidade de vegetais é grande em virtude da grande quantidade de energia luminosa e de água, o que permite intensa atividade fotossintética. Evidencia-se a **estratificação vegetal**: árvores com mais de 40 metros de altura formam um estrato superior, abaixo do qual se desenvolvem outros estratos. Os estratos superiores da vegetação sustentam epífitas (orquídeas e bromélias) e lianas (cipós). A área junto ao solo é pouco iluminada e, por isso, não possui muita vegetação rasteira. Há diversidade de insetos, anfíbios, répteis e aves. Entre os mamíferos, são abundantes roedores, felinos e primatas.

► A umidade e as altas temperaturas facilitam o desenvolvimento e a ação de microrganismos decompositores, responsáveis pela rápida reciclagem da matéria, e a alta produtividade das Florestas Ombrófilas.

► Formações Herbáceas

Essas áreas, também chamadas **Campos** (**figura 3e**), caracterizam-se pelo predomínio de plantas herbáceas. Dividem-se em subtipos, como as **Estepes** (constituídas principalmente por gramíneas adaptadas a pouca umidade) e as **Savanas** (onde se misturam gramíneas, arbustos esparsos e árvores de pequeno porte).

As Estepes encontram-se na Europa, na Ásia, na América do Norte (**Pradarias**) e na América do Sul (**Pampas**). Em geral, os verões são quentes e os invernos, frios; a pluviosidade é intermediária. A fauna é rica em herbívoros como roedores e ruminantes.

As Savanas encontram-se na África, na Oceania, na Ásia e na América do Sul (**Cerrados**). Apresentam alternância de estações chuvosa e seca. O solo é geralmente ácido e pobre em nutrientes. Nas Savanas africanas, encontram-se herbívoros (como zebras, girafas e impalas) e seus predadores, os grandes carnívoros (por exemplo, leões, leopardos, guepardos e hienas).

► Desertos

Encontram-se no Chile, nos Estados Unidos, na África, na Ásia e na Austrália (**figura 3f**), geralmente em latitudes em torno de 30° ou nas proximidades de montanhas que barram o vento carregado de umidade. A pluviosidade é muito baixa; há intensa radiação solar e muito vento; as temperaturas são elevadas durante o dia, caindo acentuadamente à noite. A baixa umidade determina pequena densidade de vegetação. Os artrópodes (insetos e aracnídeos) e os répteis (serpentes e lagartos) exibem revestimentos espessos e impermeáveis, que reduzem a perda de água por transpiração.

Retratos do Brasil

O Brasil apresenta uma das mais ricas biodiversidades do planeta, distribuídas em pelo menos seis grandes biomas: Floresta Amazônica, Cerrados, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal Mato-Grossense e Pampas. Além desses, destacam-se áreas parcialmente sobrepostas (como o lavrado de Roraima, a Mata dos Cocais e a Mata de Araucária) e formações herbáceas peculiares (por exemplo, no Amapá, na ilha de Marajó e no sul do Mato Grosso do Sul).

A distribuição geográfica de cada um deles não é homogênea, por vezes formando verdadeiros mosaicos. A área de abrangência da Mata Atlântica, por exemplo, inclui florestas densas, florestas abertas, áreas de savana e numerosos ecótonos.

As **áreas antrópicas** encontram-se modificadas por ocupação urbana, pecuária, agricultura, exploração madeireira ou mineração e reservatórios de usinas hidrelétricas. O mapa da **figura 4** mostra a distribuição das principais paisagens naturais brasileiras.

Ao tratar de paisagens naturais do Brasil, utilizamos **biomas brasileiros**, como fazem, por exemplo, Fábio Rúbio Scarano et al., em **Biomas brasileiros: retratos de um país plural**, 2012.



Figura 4. Distribuição original e aspecto dos principais biomas e de outras paisagens naturais do Brasil: (a) Lavrado em Roraima, 2013; (b) Mata dos Cocais em Balsas (MA), 2014; (c) Caatinga em Crateús (CE), 2014; (d) Cerrado em Cidade de Goiás (GO), 2013; (e) Mata Atlântica no Parque Estadual do Rio Doce (MG), 2013; (f) Manguezal em Salinópolis (PA), 2013; (g) Mata de Araucária em Pinhão (PR), 2014; (h) Pampas em Candiota (RS), 2014; (i) Pantanal em Poconé (MT), 2013; e (j) Floresta Amazônica em Barra de São Manuel (divisa entre AM-MT-PA), 2014. As áreas em branco representam outros biomas ou áreas de transição.

► Floresta Amazônica

Cerca de 60% da área total desta Floresta Ombrófila densa (que abrange nove países sul-americanos) está no Brasil, onde ocupa 40% do território. Em maior ou menor proporção, cobre os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá, Pará, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins. A pluviosidade e a temperatura são elevadas, favorecendo o desenvolvimento da vida, o que possibilita o florescimento de uma das maiores biodiversidades da Terra.

São três os tipos principais de vegetação:

- As **matas de igapós** estão permanentemente alagadas. Suas árvores chegam a atingir 20 metros de altura, com raízes-escoras ou raízes respiratórias. A vitória-régia é encontrada nessa área.
- As **matas de várzea** alagam-se na época das cheias dos rios.
- As **matas de terra firme**, de vegetação densa, não são alagadas. O solo da floresta, relativamente livre de vegetação rasteira, é coberto por matéria orgânica, principalmente pelas folhas que caem das árvores, formando o **folhiço** (ou serrapilheira). São encontrados mognos, castanheiras-do-brasil, palmeiras e guaranás. Entre os animais, destacam-se artrópodes, aves, felinos (como a onça-pintada), primatas e preguiças. A floresta de terra firme, em geral, apresenta até cinco estratos mais ou menos evidentes, dependendo da região: herbáceo, arbustivo, arbóreo, estrato das lianas e estrato das epífitas.



Fabio Colombini

5. Casas flutuantes no Parque do Janauary, Manaus

14. As populações humanas aglomeram-se em aglomerações urbanas ou distribuídas mais ou menos ao longo das beiras dos rios (os rios servem como vias de deslocamento e de alimento e de renda).

área ocupada pela Floresta Amazônica é naturalmente fértil. Porém, a presença da cobertura de matéria orgânica emite o desenvolvimento da vegetação caracteriza o bioma. A partir dessa observação os alunos os efeitos das queimadas que destroem a microbiota da camada da superfície do solo, que se submete às chuvas e da radiação solar.

Conhecida como savana das Guianas, a região do **lavrado** é a maior área de formação predominantemente herbácea incrustada na Amazônia. Essa paisagem natural abrange toda a porção nordeste do estado de Roraima e, apenas no território brasileiro, ocupa área superior a 40 000 km². Sua composição biótica varia de uma região para outra, em virtude da heterogeneidade de altitude, temperatura e pluviosidade.

► Ação humana na Floresta Amazônica

Na Floresta Amazônica, a atividade agrícola e pecuária e a exploração madeireira estão, progressivamente, depauperando a floresta. A partir da década de 1970, a abertura de estradas rapidamente estendeu as fronteiras agrícolas e urbanas à Floresta Amazônica (**figura 6**), reduzindo substancialmente sua extensão territorial.

Na Amazônia, a **produtividade** das pastagens (biomassa de capim que produzem por hectare e por ano) é pequena; conseqüentemente, também é baixa a **capacidade de suporte** dessas pastagens (quantos animais conseguem alimentar por hectare e por ano). Por isso, para aumentar a rentabilidade, os pecuaristas expandem a área de pastagens. Com a queda do preço da terra, verificada após meados da década de 1990, tornou-se mais barato comprar áreas e desflorestá-las do que cultivar as áreas já utilizadas. Assim, ano a ano, mais floresta é queimada; depois de pouco tempo de uso, os pastos são abandonados.



© Google Earth, 2016

Figura 6. Imagem de satélite (Santarém, PA, 2013) mostrando o aspecto característico do desmatamento em **espinha de peixe**: de um eixo principal, representado por uma rodovia, partem vias secundárias, abrindo espaço na floresta. Primeiro a motosserra; depois o fogo, o capim e o boi; finalmente, quase nada.

A devastação da Floresta Amazônica formou o chamado **arco de desflorestamento**, uma faixa que se inicia no oeste do Maranhão, passa do nordeste ao sul do Pará, noroeste do Tocantins e pelos estados de Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e Acre (**figura 7**).

Mario Tama/
Getty Images



Figura 7. (a) Imagem de satélite das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Em vermelho, área do arco de desflorestamento da Floresta Amazônica. (b) Queimada de trecho da Floresta Amazônica em Zé Doca (MA), 2014.

A Floresta Amazônica sofre outros agravos. A mineração, por exemplo, provoca erosão, assoreamento (isto é, a obstrução do leito dos rios por areia ou sedimentos) e a poluição por mercúrio (utilizado para separar o ouro da lama). A caça e a pesca predatórias ameaçam espécies endêmicas. Algumas usinas hidrelétricas têm sido construídas e, para isso, grandes áreas de matas são submersas, destruindo espécies vegetais e eliminando refúgios de numerosas espécies. Somente o reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no rio Tocantins, estado do Pará, cobre uma área de 2 500 km².

▶ Espécies endêmicas são as que ocorrem apenas em determinada área.

▶ Cerrados

Os Cerrados, que cobrem 22% do território nacional, contêm um terço de todas as espécies brasileiras. Eles estão situados praticamente no centro do país, ocupando partes de Rondônia, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Maranhão, Piauí, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Os Cerrados apresentam pluviosidade média inferior à da Floresta Amazônica e à da Mata Atlântica e solo pobre em nutrientes e rico em alumínio.

Os Cerrados não constituem uma paisagem homogênea. Em algumas áreas, predominam gramíneas e poucos arbustos; em outras, as árvores de maior porte são mais abundantes. Em todas as suas expressões, notam-se gramíneas, arbustos e árvores retorcidas, esparsamente distribuídas. Há áreas de mata mais fechada junto aos rios. A fauna inclui emas, antas, lobos-guarás, tamanduás, pacas, saúvas, cupins, entre outros.

Por ocupar posição interiorana, o que acontece com os Cerrados repercute nos biomas a eles conectados, como a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica, a Caatinga e o Pantanal Mato-Grossense. Os Cerrados também são fundamentais para as principais redes hidrográficas brasileiras, uma vez que neles estão as nascentes de rios das bacias do Prata, do Amazonas e do São Francisco. Essa imensa malha hidrográfica atua como uma espécie de corredor para a fauna.

A partir da década de 1960, com o avanço das técnicas agrícolas, a topografia plana dos Cerrados passou a oferecer condições para o estabelecimento de monoculturas de grãos, particularmente da soja. Com isso, os Cerrados converteram-se na principal fronteira agrícola do país, respondendo atualmente por mais de 50% da soja, 35% do milho e 30% do arroz produzidos no Brasil e por grande parte das safras de café e de feijão. A pecuária nos Cerrados, por sua vez, concentra 50% do rebanho nacional de bovinos (principalmente no Mato Grosso) e 20% do rebanho de suínos (principalmente em Goiás).

O custo ambiental da agricultura pode ser elevado. A organização não governamental WWF (World Wildlife Fund) estima que, para cada quilograma de grãos produzido nos Cerrados, perdem-se 10 kg de solo, devido à erosão. Segundo o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), os Cerrados brasileiros perdem anualmente 25 toneladas de solo por hectare cultivado.

Os Cerrados apresentam pluviosidade sazonalmente bem definida, sendo a primavera e o verão as estações mais chuvosas.

Desmatamento já atinge metade do Cerrado, diz governo

Uma tecnologia que já havia sido aplicada à Amazônia em 2008 foi “exportada” para o Cerrado em 2013, revelando que quase metade do bioma já foi desmatada. Dados do TerraClass, projeto que mapeia o uso da terra e da cobertura vegetal no Cerrado, foram divulgados [...] pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). O mapa foi elaborado com base em interpretação visual de 121 imagens de satélite, processadas pela técnica de segmentação por crescimento de regiões.

Constatou-se que 54,62% do bioma — o segundo maior da América do Sul, ocupando cerca de 22% do território brasileiro — está preservado. O restante se enquadra na classe “áreas antrópicas”, que inclui terras urbanizadas ou usadas para silvicultura, mineração e, principalmente, agricultura e pastagem.

Goiás, o terceiro Estado sobre o qual mais incide a área contínua de Cerrado (329 600 km²), tem menos da metade do bioma preservado — 42%. Mato Grosso do Sul já desmatou 68% do bioma, que totaliza 216 mil km².

O alto índice de urbanização de São Paulo leva a um índice de 81% de desmatamento, embora a área de cobertura seja menor, de 81 100 km². “A primeira boa notícia é que as pessoas achavam que tínhamos menos Cerrado, mas na verdade temos mais. O que antes era apenas um ‘chute’ agora tem validade técnico-científica”, disse a ministra do Meio Ambiente [...].

Foram consideradas áreas preservadas aquelas com padrões de cobertura da terra compatíveis com as diferentes

fisionomias vegetais que compõem o Cerrado. “Uma área natural não necessariamente significa que não tenha uso humano. Pode estar sendo usada para atividades produtivas pouco intensivas”, disse o diretor do Departamento de Florestas do ministério [...].

Para os especialistas envolvidos no projeto, o desafio é ampliar a produção agropecuária no bioma que é considerado uma importante fronteira agrícola, conservando a biodiversidade e reduzindo a pressão pela ocupação de novas áreas. O Cerrado abriga nascentes das Bacias do Araguaia-Tocantins e São Francisco, além dos principais afluentes das Bacias Amazônica e do Prata, e por isso é considerado estratégico na área de recursos hídricos. [...]

Desmatamento já atinge metade do Cerrado, diz governo. **IstoÉ Dinheiro**, 26 nov. 2015. Disponível em: <www.istoedinheiro.com.br/noticias/economia/20151126/desmatamento-atinge-metade-cerrado-diz-governo/320617>. Acesso em: mar. 2016.

Atividade

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia, julgue (V ou F) as afirmativas a seguir:

- F I. A grande extensão dos Cerrados reduz o impacto das pressões antrópicas.
- V II. A principal ameaça aos Cerrados está na expansão das fronteiras agrícolas.
- V III. Outras regiões podem ser indiretamente afetadas

pela degradação desse bioma, pois os Cerrados são a origem de importantes recursos hídricos.

- V IV. No estado de São Paulo, a degradação dos remanescentes de Cerrados é agravada pelo processo de urbanização.
- V V. Existem formas menos lesivas de exploração de recursos dos Cerrados, que permitiriam diminuir os impactos ambientais e evitar a abertura de novas áreas.

Caatinga

A Caatinga (do tupi, “mata branca”) é um tipo particular de savana que ocupa, em maior ou menor extensão, os estados do Nordeste, além de algumas regiões do norte de Minas Gerais. Suas temperaturas são elevadas, e a umidade do ar é baixa. A pluviosidade é reduzida, e as chuvas caem somente no inverno, eventualmente ocorrendo prolongados períodos de seca (principalmente nas áreas mais centrais).

O solo, relativamente fértil, é superficial e não armazena água suficiente para a manutenção de grandes estratos vegetais. Muitos rios são intermitentes, caudalosos na estação das chuvas e praticamente secos quando elas escasseiam. A falta de água pode ser tão acentuada que determina o aparecimento de áreas de desertificação (como as que existem no Ceará, na Bahia e no Rio Grande do Norte).

A vegetação esparsa resulta do solo seco. Algumas plantas (como xiquexiques, mandacarus e barrigudas) têm tecidos armazenadores de água. Entre as plantas mais comuns, estão aroeiras, juazeiros, umbuzeiros e paus-ferro; entre os animais, encontram-se serpentes, lagartos, tatupebas, asas-brancas, preás e gambás.

Ao contrário do que habitualmente se imagina, o solo e a vegetação ressequidos não retratam a biodiversidade desse ecossistema. Existem mais de 330 espécies endêmicas, sendo as de artrópodes e répteis as mais abundantes. Ocorrem na Caatinga 150 espécies de mamíferos (15 endêmicas) e 200 espécies de peixes (20 endêmicas).

Ação humana na Caatinga

A Caatinga é um dos biomas brasileiros mais explorados, perdendo em degradação apenas para a Mata Atlântica e para o Cerrado.

Calcula-se que 50% da Caatinga já esteja comprometida pela ação humana. As principais ações antrópicas são representadas por culturas de algodão, pecuária extensiva, má conservação do solo, erosão e derrubada de árvores para a obtenção de lenha.

A Mata dos Cocais é um tipo peculiar de Floresta Ombrófila aberta, localizada entre a Floresta Amazônica e a Caatinga, principalmente nos estados do Maranhão e do Piauí, com algumas áreas no Pará, no Tocantins, no Ceará e no Rio Grande do Norte. Nela, predominam as palmeiras: a carnaúba (gênero *Copernicia*), o babaçu (gênero *Orbignia*), o buriti (gênero *Mauritia*) e a oiticica (gênero *Licania*). Desde o período colonial, biomas originais (áreas de Mata Atlântica e de Caatinga) deram lugar a áreas destinadas à agricultura e, principalmente, à pecuária. Posteriormente, esses espaços foram invadidos por palmeiras, que passaram a predominar na paisagem.

► Mata Atlântica

A Mata Atlântica foi a segunda maior Floresta Ombrófila na América do Sul, abrangendo toda a costa do litoral brasileiro (do Rio Grande do Sul ao Rio Grande do Norte). Atualmente, em razão do desmatamento (principalmente a partir do século XX), encontra-se muito reduzida, sendo uma das dez florestas tropicais mais ameaçadas do planeta.

A Mata Atlântica é uma Floresta Ombrófila Densa, semelhante à Floresta Amazônica, da qual é separada pelo Cerrado ou por trechos de Caatinga. Em longas faixas, a Mata Atlântica faz divisa com Manguezais.

Essa floresta inclui diversos subtipos, como as **Matas Litorâneas** do oceano Atlântico, as **Matas das Encostas** da Serra do Mar, as **Matas do Interior** e a **Mata de Araucária**. Isso proporciona uma biodiversidade elevada, com 16 mil espécies de plantas, como o jequitibá-rosa, o jacarandá, o pau-brasil, ipês, canelas, manacás, quaresmeiras, além de grande diversidade de bromélias, orquídeas e palmeiras. Epífitas e lianas existem em menor quantidade do que na Floresta Amazônica. Há mais espécies de plantas na Mata Atlântica do que em toda a Europa.

Esparadamente distribuídas pelo interior, nas margens de muitos rios, encontram-se as **matas ciliares** (florestas ripárias ou matas-galerias, **figura 8**). Essas matas ocupam espaço em todos os biomas brasileiros. Em áreas, originalmente ocupadas pela Mata Atlântica, são elas pequenas amostras da vegetação outrora exuberante.

► Ação humana na Mata Atlântica

Aproximadamente 70% dos brasileiros vivem sob influência ambiental da Mata Atlântica, que afeta o clima, circunda mananciais, mantém a fertilidade do solo e protege as encostas de morros contra a erosão e os desbarrancamentos. Além disso, em sua área de abrangência, nascem diversos rios (como o Tietê, o Piracicaba e o Paraíba do Sul), que abastecem muitas cidades.

A atividade humana fez desaparecer a maior parte da cobertura florestada original, substituída atualmente por grandes áreas urbanas e vastas extensões de terras cultivadas. A deposição de resíduos urbanos (domiliares e industriais), a ocupação do solo por plantações (trazendo erosão e poluição por defensivos agrícolas) e a poluição atmosférica são alguns dos problemas ambientais que acometem a região.

O desmatamento nas margens de aglomerações urbanas e a ocupação de áreas de morro com moradias precárias sobre solo instável (como na cidade do Rio de Janeiro, na região de Angra dos Reis e na Baixada Santista) também colocam em risco as populações desses locais (**figura 9**).



Delfim Martins/Pulgar

Figura 8. Mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, na região de Pitangueiras, SP, 2013. A embarcação que se vê na fotografia é usada para a travessia de caminhões que transportam cana-de-açúcar das lavouras para as usinas da região.

A biodiversidade da Mata Atlântica é caracterizada por um elevado grau de endemismo. Entre as espécies de plantas e de vertebrados, estima-se que 45% e 43%, respectivamente, sejam endêmicas. O fato é ainda mais acentuado para alguns grupos: 80% das bromélias e 90% dos primatas (como o mico-leão-dourado) da Mata Atlântica são endêmicos.



Zig Koch/Pulgar



Felipe Dana/AP/Glow Images

Figura 9. (a) Área urbanizada em região de encosta, na comunidade Morro dos Prazeres, Rio de Janeiro (RJ), 2014. (b) Deslizamento de grandes proporções e graves consequências em Angra dos Reis (RJ), no dia 1º de janeiro de 2010.

► Mata de Araucária

Imbricada na área de abrangência da Mata Atlântica, essa Floresta Ombrófila mista com expressiva presença de araucárias distribui-se em locais de climas subtropicais, nos estados de Santa Catarina e Paraná, e em elevações no sul de Minas Gerais, em São Paulo e no Rio Grande do Sul. Entre as espécies vegetais, além do **pinheiro-do-paraná** (*Araucaria angustifolia*), desenvolvem-se ainda samambaias e gramíneas, além de outras árvores, como imbuías, cedros e canela. Na fauna, destacam-se a onça-pintada, roedores (como a cutia e a paca) e aves (gralha-azul, beija-flores e sanhaço).

A derrubada para aproveitamento da madeira reduziu a extensão das Matas de Araucária a menos de 5% da cobertura original. Atualmente, grandes áreas de reflorestamento implantadas na região utilizam o pinheiro-europeu (*Pinus* sp.) ou o eucalipto (*Eucalyptus* sp.), em vez do pinheiro-do-paraná, que, por ser uma árvore de crescimento mais lento, não atende tão bem aos interesses comerciais dos produtores de madeira ou celulose.

► Pantanal Mato-Grossense

Com altitude média de 100 m, o Pantanal Mato-Grossense é a maior planície alagada do continente americano, com uma área estimada de 150 mil km². Ocupa boa parte dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, estendendo-se à Bolívia e ao Paraguai. Nas terras mais altas, encontram-se formações vegetais diversas, como campos, cerrados, caatingas e florestas.

A biodiversidade pantaneira inclui por volta de 3 mil espécies de plantas, quase 1300 espécies de vertebrados e 2 mil espécies de artrópodes (principalmente insetos). Além disso, vivem no Pantanal centenas de espécies de peixes (piranhas, pintados e dourados), répteis (jacarés, lagartos e serpentes), aves (tuiuiús, garças, colhereiros, araraúnas, papagaios e tucanos) e mamíferos (onças, capivaras e quatis).

Quase todas as espécies de plantas e de animais dependem do fluxo periódico das águas, a principal característica da região. O Pantanal apresenta duas estações bem definidas: a chuvosa (de outubro a março) e a seca (de abril a setembro). No período das chuvas, por causa da topografia plana do terreno, a água enche lagoas e banhados, deixando vastas áreas alagadas. Nessa época, os animais buscam refúgio nas terras firmes, ocupando as áreas não inundadas; peixes reproduzem-se e plantas aquáticas entram em floração.

No término do período das chuvas, as águas baixam lentamente e restringem-se aos leitos de rios e de algumas lagoas e banhados. Ao baixar, as águas deixam nutrientes que fertilizam o solo. As aves agrupam-se nos ninhais, iniciando a reprodução; répteis e mamíferos migram, acompanhando as águas. No auge da seca, a fauna concentra-se em torno das lagoas e de pequenos cursos de água (chamados corixos), facilitando a observação e, por isso mesmo, a caça.

► Há controvérsia quanto a se considerar o Pantanal Mato-Grossense um verdadeiro bioma. Para muitos, trata-se de um complexo entrelaçamento de ecossistemas diversos.

Entre os jacarés, destacam-se as grandes populações do jacaré-do-pantanal (*Caiman jacare*). Em menor número, encontram-se os jacarés-do-papo-amarelo (*Caiman latirostris*).

► Ação humana no Pantanal

Incorporado à paisagem do Pantanal Mato-Grossense, o ser humano interfere acentuadamente no equilíbrio ambiental.

Boa parte da vida nesse bioma depende de peixes que servem de alimento a várias populações. Quando os peixes são afetados de alguma forma, vários outros organismos podem ser comprometidos.

Os garimpos, muitos deles clandestinos, poluem a água com mercúrio, usado para separar o ouro de outros materiais. Lançado nos rios, o mercúrio tem ação tóxica e efeito cumulativo. Nas plantações, utilizam-se defensivos agrícolas e fertilizantes químicos, levados pela água das chuvas até rios e lagoas, comprometendo as populações de organismos aquáticos.

A pesca sem controle provoca redução das populações de peixes e, conseqüentemente, de aves que deles se alimentam. Apesar da produtividade pesqueira e da riqueza de espécies do Pantanal, tanto a pesca comercial como a pesca esportiva têm ação predatória. O tamanho médio dos peixes está diminuindo, e eles estão se tornando mais raros, sinais evidentes de captura excessiva.

Os caçadores de jacarés também provocam alterações ambientais, pois, com a diminuição do número desses répteis, aumenta a quantidade de piranhas, reduzindo as populações de outros peixes, que servem de alimento para aves e outros animais, incluindo os próprios jacarés.

Introduzida no Pantanal Mato-Grossense no final do século XIX, a pecuária ainda é uma das principais atividades econômicas da região. Tradicionalmente, ela obedecia ao ritmo das águas, mas a modernização da atividade levou à divisão de terras em áreas menores, à introdução de variedades exóticas de capim e à interferência no fluxo das águas com represamento, drenagem e construção de estradas.

A utilização de áreas para lavoura (principalmente de soja) tem provocado erosão do solo e assoreamento.



Figura 10. Vista aérea de garimpo de ouro na região do Pantanal (Poconé, MT, 2013).

► Pampas

Os Pampas (também chamados de pradarias mistas, campos sulinos ou campos gaúchos) constituem uma formação herbácea que ocorre no Rio Grande do Sul, estendendo-se pela Argentina e pelo Uruguai. A pluviosidade não é elevada; a vegetação predominante é composta de gramíneas, com florestas remanescentes nas margens dos rios. Na fauna, alguns representantes são tamanduás, jaguatiricas, perdizes, beija-flores e saíras.

Os Pampas estão sujeitos à erosão e à desertificação, provocadas por pastoreio intenso e queimadas, comuns na região.

1. “Caminhando pela Europa Oriental no sentido Sul → Norte, encontramos três grandes biomas: a Tundra, as Florestas Temperadas e a Taiga.”

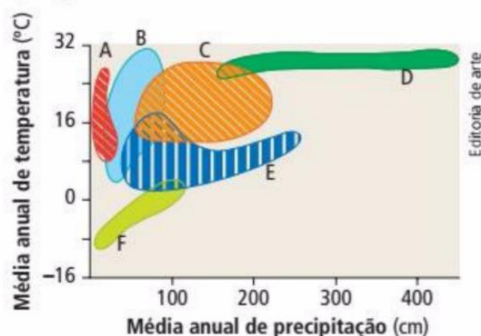
Olhando um mapa-múndi, responda às perguntas seguintes.

- A ordem em que esses biomas foram apresentados é correta? Justifique.
- Ao percorrer o trajeto descrito, como deve se comportar a biodiversidade?

2. (Unicamp-SP) Em florestas temperadas de coníferas, a serrapilheira (detritos vegetais particulados no chão) constitui 20% do total da biomassa vegetal, enquanto nas florestas tropicais úmidas constitui somente 1 a 2%. Há poucos nutrientes no solo das florestas tropicais úmidas em comparação com as florestas temperadas. Diz-se, frequentemente, que as queimadas e o desmatamento nas florestas tropicais úmidas levarão ao empobrecimento total do solo, fazendo com que, em pouco tempo, as áreas assim desmatadas não sirvam nem para pastagem.

- Como se explica o fato de haver poucos nutrientes no solo das florestas tropicais úmidas, em contraste com a exuberância dessas florestas?
- Explique por que o desmatamento e as queimadas poderão provocar o empobrecimento total do solo dessas áreas.

3. As áreas coloridas no climograma a seguir assinalam a distribuição de seis biomas em função de dois fatores abióticos: médias anuais de temperatura e médias anuais de precipitação pluviométrica.

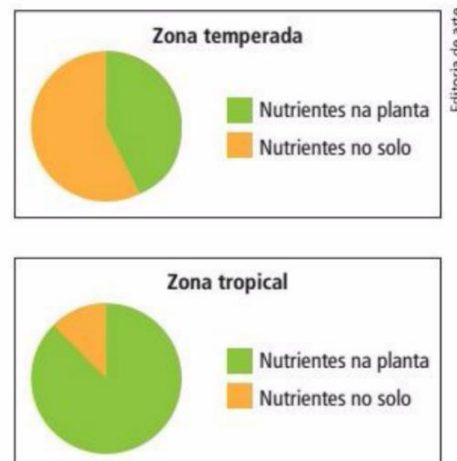


- Determine as áreas que devem corresponder aos seguintes biomas: Tundra, Floresta Temperada e Desertos.
 - Qual área corresponde ao bioma com a maior biodiversidade?
4. A diversidade climática da Terra se traduz em ampla gama de paisagens vegetais. As temperaturas médias e a amplitude térmica, assim como a pluviosidade média e a distribuição das chuvas, definem limites naturais. Julgue como verdadeiras (V) ou falsas (F) as associações entre esses elementos e os domínios fitogeográficos do planeta feitas a seguir.

- Floresta Boreal. É encontrada principalmente no Hemisfério Norte devido à disposição das massas continentais. O inverno longo e rigoroso representa um fator limitante para a maior parte das espécies vegetais; por isso, é uma floresta homogênea e pouco densa.
- Florestas Temperadas. Localizadas em médias latitudes, abrigam um grande número de espécies. Originalmente cobriam grandes extensões territoriais da América do Norte e da Europa; atualmente, devido à intensa urbanização e às práticas agrícolas, restam apenas algumas poucas reservas.

- Florestas Equatoriais. São encontradas em áreas de baixa latitude e alta pluviosidade, nas quais predomina o clima quente e úmido. Apresenta grande diversidade de espécies vegetais; é densa e apontada como a formação vegetal de máximo desenvolvimento na Terra.

5. (UFRJ) Dada a distribuição de nutrientes descrita nas figuras abaixo e sabendo que a pluviosidade média anual é maior na zona tropical, em que zona diminuiria mais rapidamente a produtividade de plantações instaladas após a retirada das árvores originais para utilização comercial da madeira? Justifique sua resposta.



6. (Unicamp-SP) A poluição atmosférica de Cubatão continua provocando efeitos negativos na vegetação da Serra do Mar, mesmo após a instalação de filtros nas indústrias na década de 80. Nos locais onde houve destruição total, a mata está se recompondo, mas com uma vegetação diferente da mata atlântica original.

- Considerando-se que a mata está se recompondo através de um processo natural de sucessão secundária, quais são as etapas esperadas neste processo?
- Cite duas características típicas da mata atlântica.

7. (Unifesp-SP) Considere os grandes biomas do Brasil: Cerrados, Florestas, Pampas e Caatingas.

- Em qual deles espera-se encontrar maior abundância de anfíbios?
- Justifique sua resposta, relacionando as características do ambiente com as deste grupo de vertebrados.

8. (Unicamp-SP) Escreve James W. Wells em **Três mil milhas através do Brasil**:

“A aparência desta vegetação lembra um pomar de frutas mirrado na Inglaterra; as árvores ficam distantes uma das outras, ananizadas no tamanho, extremamente retorcidas tanto de troncos quanto de galhos, e a casca de muitas variedades lembra muito a cortiça; a folhagem é geralmente seca, dura, áspera e quebradiça; as árvores resistem igualmente ao calor, frio, seca ou chuva [...]”.

- A que tipo de formação vegetal brasileira o texto se refere?
- Qual é a principal causa do aspecto “ananizado” das árvores?
- Qual é a principal causa do aspecto da casca?
- Cite outra característica importante das plantas dessa formação vegetal que não esteja descrita no texto. A que se deve essa característica?

Em um animal enjaulado, não podemos ver a beleza essencial da vida, apenas a sombra da beleza perdida¹.

Julia Allen Field,
1937-2010, escritora
e conservacionista
norte-americana.

Mascotes da preservação ambiental

No final da década de 1970, o zoológico do Bosque Municipal de Ribeirão Preto (SP) procurava uma onça-preta (variedade melânica da onça-pintada, espécie *Panthera onca*) para expor aos visitantes. Na época, tratava-se de animal raro em zoológicos e, portanto, de difícil aquisição. Em 1980, finalmente, conseguiu-se um exemplar. Menos de quinze anos depois, o setor de felinos do mesmo zoológico estava abarrotado de animais, com duas onças-pintadas, duas onças-pretas, uma suçuarana (onça-parda, espécie *Puma concolor*) e sete leões (*Panthera leo*). Preocupados com a superpopulação, os responsáveis pelo zoológico resolveram doar alguns animais; todavia, nenhuma instituição procurada estava interessada em receber felinos; muitas delas, inclusive, já tinham seus próprios problemas com excesso de animais.

À primeira vista, o fato demonstra um trabalho louvável de pesquisa realizado por biólogos e veterinários, no sentido de preservar animais em risco de extinção. No entanto, um esforço quase desprovido de efeitos abrangentes ou imediatos. Por quê?

Em primeiro lugar, os animais expostos em zoológicos constituem uns poucos megavertebrados carismáticos, escolhidos pelo efeito visual ou quase “mágico” que exercem sobre os visitantes. Quais deles pertencem à fauna brasileira? Separemos os animais nativos dos animais exóticos e o número de animais expostos seria bem pequeno. Ao se relacionarem apenas as espécies nativas sob risco de extinção, a lista ficaria ainda menor. E destas não se consegue a reprodução nem de 10% em cativeiro. Em resumo: os zoológicos, atualmente, não são capazes de salvar nem mesmo as espécies que mantêm.

Em segundo lugar, questiona-se a utilidade prática dessas reproduções. Não só a onça-preta, mas também a onça-pintada,

a suçuarana, o lobo-guará, a anta, o tucano e muitos primatas poderiam ser liberados. Seus últimos refúgios naturais, porém, estão sendo rapidamente destruídos, pois o ser humano está invadindo e degradando seus habitats.

À vista disso, questiona-se: os zoológicos devem ser extintos?

Desde que mantidos em condições apropriadas de bem-estar e sob rigoroso controle zootécnico e sanitário, os animais podem continuar expostos, principalmente por um motivo: eles atraem o público. E os zoológicos devem aproveitar-se disso para se dedicar cada vez mais à educação ambiental. Algo idêntico pode ser dito a respeito de aquários, jardins botânicos e herbários, que preservam e expõem espécies animais e vegetais. Como têm capacidade de atrair visitantes, essas instituições podem ser agentes de conscientização ambiental e de educação continuada, além de promover a sustentabilidade ambiental.

No entanto, as condições em que os animais são mantidos frequentemente estão longe das ideais. Além disso, zoológicos e instituições assemelhadas muitas vezes acabam sendo vistos pela população apenas como locais de lazer e de entretenimento, gerando confusões conceituais ou — o que é pior! — transmitindo informações equivocadas.

Muito mais relevante do que salvar uns poucos animais e plantas em ambientes artificialmente criados, o esforço realmente fundamental é o de preservar os ecossistemas ou, quando já não for possível, regenerá-los. Não somos os seres vivos mais importantes no cenário da vida na Terra. Todos os organismos relacionam-se num intrincado mecanismo, que mal começamos a desvendar. As pessoas precisam perceber que, embora tenham a capacidade de modificar os ecossistemas, por isso mesmo têm a responsabilidade de zelar por eles.

¹ Apud OZECA, V. Z. *Humanimal*. Lulu, 2010. (Tradução nossa.)

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

1. Leia os textos abaixo e responda às atividades.

Texto 1

Após tantas mudanças ocorridas nos últimos anos na sociedade humana entendemos que chegou a hora de discutir o fim dos “jardins zoológicos”. Não é mais preciso enjaular animais para mostrá-los às pessoas interessadas em vê-los de perto. Na verdade, os zoológicos são recintos medievais nos quais os animais retirados do reino onde viviam em liberdade são condenados à prisão perpétua. A sociedade moderna pode muito bem exigir que os carcereiros de animais os libertem e os devolvam ao ambiente natural onde viviam. Esta é apenas uma proposição para ser discutida por especialistas: biólogos, cientistas, naturalistas, ambientalistas e cidadãos livres. Uma recente informação da Prefeitura de Uberlândia apareceu na mídia com o seguinte título: “Zoológico do Parque do Sabiá passa por revitalização”. Revitalização para quê? Para aprisionar mais animais? No mundo não há mais lugar para condenar animais livres à prisão perpétua só para que algum humano curioso possa curtir-los. [...] Aprisionar animais para exibição pública é prática primitiva que começou na Europa há três séculos. Não tem mais sentido, na era do conhecimento com ciência e tecnologia. [...]

SANTOS, I. Zoológico é prisão de animais. *Correio de Uberlândia*, 15 abr. 2013. Disponível em: <www.correioUberlandia.com.br/colunas/ivansantos/zoologico-e-prisao-de-animais-2>. Acesso em: mar. 2016.

Texto 2

Responder qual animal vive mais – o selvagem ou o do cativeiro – não é tão simples quanto parece. Ainda que viver em espaço limitado seja angustiante, é preciso lembrar que a natureza não é tão segura assim – predadores, comida concorrida, alterações climáticas e, claro, ausência de veterinários são uma ameaça constante.

“Muitas espécies não foram suficientemente estudadas para que se saiba quanto tempo vivem na natureza, por isso muitas indicações de expectativa de vida referem-se ao cativeiro”, comenta o zoólogo Jonathan Wright, voluntário do Zoológico de Londres.

Ele afirma que os zoológicos evoluíram bastante nas últimas décadas e, salvo exceções, têm contado com equipes bem preparadas, o que fez a longevidade dos animais aumentar bastante. Mas ele lembra que há outros pontos a serem considerados, como a origem do bicho e as condições em que estava ao ser transferido ou capturado.

[...]

PRONIN, T. Clique Ciência: animais vivem menos nos zoológicos? *UOL Notícias*, 1º set. 2015. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/ciencia/ultimas-noticias/redacao/2015/09/01/clique-ciencia-animais-vivem-menos-nos-zoologicos.htm>>. Acesso em: mar. 2016.

- a) Aponte a ideia central de cada texto e identifique os principais argumentos de cada autor.
- b) Os textos expressam opiniões convergentes ou antagônicas? Localize palavras e/ou frases que expressam convergência ou oposição.
- c) Qual é sua opinião a respeito?
- d) Discuta as opiniões dos autores e a sua própria opinião, confrontando-as com as dos seus colegas.

2. Leia o trecho a seguir, que se refere às transformações ocorridas na Índia a partir do fim da colonização britânica, em 1947:

Veja bem, este país, em seus dias de glória, [...] parecia até um zoológico. Um zoológico limpinho e bem arrumado. Todos tinham o seu lugar e viviam felizes. [...] Quem era chamado de *halwai* fazia doces. Quem era chamado de criador de gado criava gado. Os intocáveis limpavam [latrina]. [...]

Até que, [...], no dia 15 de agosto de 1947, dia em que os britânicos foram embora, todas as jaulas foram abertas. Aí [...] a lei da selva substituiu a lei do zoológico. Os mais ferozes [...] devoraram todos os demais e ficaram barrigudos. [...]

Resumindo: antigamente havia mil castas e destinos na Índia. Hoje só há duas castas: a dos homens barrigudos e a dos homens sem barriga. E apenas dois destinos: devorar ou ser devorado.

ARAVIND, A. *O tigre branco*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2008.

- a) Nesse contexto, explique a comparação que o autor faz entre o país e um zoológico.
- b) Como você interpreta o trecho “Todos tinham o seu lugar e viviam felizes”?

3. Explique o sentido de humor da tirinha.



4. Em grupo, escolham instituições (zoológicos, aquários etc.) de sua cidade ou região e programem uma visita.
 - a) Verifiquem, em especial, a identificação, o alojamento e os cuidados com os animais.
 - b) Verifiquem os critérios de escolha dos animais em exposição e a existência de pessoal qualificado (profissionais da área) no cuidado desses animais. Se possível, conversem com a equipe técnica (biólogos e veterinários), tratadores e pessoal de apoio, buscando informações sobre a origem dos animais.
 - c) Informem-se a respeito das atividades educativas desenvolvidas pela instituição visitada.
 - d) Discutam as condições em que esses animais se encontram no local visitado, tendo como parâmetro as recomendações aceitas atualmente.
 - e) Concluída a análise dos itens anteriores, discutam: o trabalho desenvolvido pela instituição visitada é um paliativo ineficaz ou uma contribuição efetiva para a preservação da biodiversidade?
5. Pesquise a que se refere o termo *hotspot* de biodiversidade.

Biosfera e ação humana

Atmosfera

Dário Oliveira/Folhapress



Transporte público ineficiente, aumento vertiginoso da motorização individual, congestionamentos, combustíveis de má qualidade e falta de regulamentação mais restritiva às emissões de poluentes pelos veículos automotores são alguns dos fatores que contribuem para piorar a qualidade do ar que respiramos. Na fotografia, estação da Luz, São Paulo, 2015.



E o mundo nunca mais foi o mesmo

Os combustíveis fósseis constituem nossa principal fonte de energia, e entre as consequências de sua combustão estão as chuvas ácidas e o aquecimento global. A análise desses efeitos para os ecossistemas e a saúde humana aponta a necessidade urgente de desenvolvimento e uso de fontes alternativas de energia, que liberem menos gás carbônico para a atmosfera.

A atmosfera terrestre é um produto da vida, tecida no tempo lento das eras geológicas, e isso a distingue das atmosferas dos outros planetas do Sistema Solar. Contudo, a mais forte evidência do poder que a civilização urbano-industrial demonstra de transformar a natureza são as mudanças químicas e físicas que, no tempo curto de sua história, manifestam-se no ar das regiões industriais e das aglomerações urbanas. A alta concentração de poluentes atmosféricos e as precipitações ácidas acompanham o contorno geográfico das cidades contemporâneas.

A interferência humana sobre a atmosfera, a esfera gasosa da Terra, ocorre também em escala mais vasta. As evidências da degradação recente da camada de ozônio, derivada de substâncias utilizadas pela sociedade de consumo, acenderam os sinais de alerta. Os governos firmaram tratados destinados a substituir os produtos que rompem o filtro solar crucial para a vida no planeta.

A atmosfera é a ponte complexa que relaciona a radiação solar à biosfera. Sua dinâmica entrelaça-se com os ciclos de atividade solar e com a tectônica das placas continentais, que muda a disposição das terras emersas e dos oceanos. Ela continua a iludir a ciência e a tecnologia mais avançadas, revelando-se cheia de mistérios.

O fenômeno da poluição atmosférica está diretamente ligado a processos históricos recentes, sendo um subproduto da urbanização e da industrialização. A concentração da população em cidades grandes e médias gerou focos críticos, caracterizados por níveis elevados de poluição do ar. O mundo urbano, porém, é uma realidade histórica recente. Há dois séculos, em 1800, apenas 3% da humanidade residia no meio urbano: dedicadas ao comércio e à administração, as cidades constituíam ilhas cercadas pelo oceano do mundo rural.

Atualmente, as cidades da Europa e da América anglo-saxônica abrigam perto de 85% da população total dessas regiões, e o êxodo rural está praticamente encerrado. Nos países em desenvolvimento, o processo de urbanização acelerou-se mais tarde e continua a se processar em ritmo vertiginoso. Sua taxa média de urbanização está perto de 50%, mas, em poucas décadas, a população urbana será majoritária.

A história climática da Terra exhibe um cenário de elevações térmicas interrompidas por vales de resfriamento que anunciam a chegada de glaciações. Os registros térmicos de mais de um século de observações indicam a aproximação de um cume térmico. Sua interpretação escancarou uma animada polêmica científica e política. Uma corrente enxerga nos gases de efeito estufa de origem antropogênica a locomotiva que acelera a marcha rumo ao aquecimento global; de outro lado, estão os céticos, que enxergam nesses gases um pinga insignificante no oceano de mudanças naturais inevitáveis.

O debate prossegue. No futuro próximo, suas repercussões afetarão nossas opções energéticas e industriais, nossas prioridades tributárias e, quem sabe, o modo de vida das próximas gerações.

O ar sobre as cidades

Quando pensamos em **poluição**, uma das primeiras imagens que vêm à mente é a de chaminés industriais emitindo fumaça. Entretanto, diversas outras formas de agressão ambiental às vezes passam despercebidas. Quantas vezes compartilhamos espaços com fumantes? Quantas vezes somos obrigados a conviver com ruídos intensos?

A **poluição** é a presença (no ar, na água, no solo ou nos alimentos) de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em quantidade superior à capacidade que o ecossistema tem de absorvê-los ou inativá-los, o que pode acarretar prejuízo ao funcionamento do ambiente, degradação estética ou dano ao bem-estar e à saúde dos seres vivos (**figura 1**).



Figura 1. Formas de poluição: (a) do ar, (b) da água, (c) visual e (d) sonora. A degradação estética do ambiente também é uma forma de poluição.

Poluição atmosférica

A piora da qualidade do ar foi uma decorrência do processo de urbanização que se verificou a partir da Primeira Revolução Industrial, que aconteceu no final do século XVIII.

Atualmente, as cidades brasileiras abrigam 84% da população do país. Em geral, as grandes cidades são mais poluídas que as de porte médio. No entanto, existem cidades industriais de porte médio cuja qualidade do ar é pior que a das metrópoles. Há quase três décadas, Cubatão (SP) tornou-se conhecida pelos efeitos da concentração de poluentes sobre a saúde da população. Diversos casos de recém-nascidos com anencefalia (ausência do cérebro ou de parte dele) e com outras malformações do sistema nervoso foram registrados e associados aos níveis de poluição atmosférica oriunda da indústria petroquímica e de fertilizantes. Porém, em decorrência de uma intensa ação ambiental, Cubatão já ostenta índices bem menos preocupantes de poluição.

O **sítio urbano** (área em que estão construídas as edificações e as vias de circulação das cidades) influi poderosamente no ambiente (**figura 2**). A combinação entre a maior temperatura do ar sobre a cidade (**ilha urbana de calor**), a movimentação mais lenta do ar, a impermeabilização do solo, a relativa escassez de vegetação e a maior quantidade de poluentes gera redomas de poluição (**tabela 1**).



Figura 2. Em uma cidade, um sistema viário, constituído por ruas e avenidas, permite o deslocamento de pessoas e de produtos diversos. O transporte público escasso e a malha viária insuficiente para as demandas geradas pela população acarretam perda de tempo e tornam lento o deslocamento pela cidade. Nas metrópoles, as áreas mais poluídas são as grandes vias expressas (em baixadas ou vales de rios) e as zonas críticas de congestionamento. (Na fotografia, avenida 23 de Maio, em São Paulo, 2014.)

Tabela 1. A cidade e seus arredores	
Fator	Comparação entre a cidade e seus arredores
Material particulado em suspensão no ar	1 000% a mais
Temperatura média anual	0,5 °C a 1,5 °C a mais
Radiação solar	15% a 30% a mais
Umidade relativa	6% a menos
Índices pluviométricos	5% a 15% a mais
Nebulosidade	5% a 10% a mais
Velocidade dos ventos	25% a menos

Fonte: TARBUCK, E. J.; LUTGENS, F. K. *Earth Science*; New Jersey: Pearson, 2009.

Os **poluentes atmosféricos** também podem ter origem natural, como os vulcões, que lançam no ar milhões de toneladas de partículas e de gases.

No entanto, as principais fontes de poluentes são as atividades humanas: os meios de transporte (que queimam combustíveis, como a gasolina e o óleo diesel), as indústrias (que emitem gases e material particulado), a queima de florestas ou de lenha, os resíduos sólidos urbanos, os fertilizantes e defensivos agrícolas, os resíduos hospitalares, entre outras (**figura 3**).

Os poluentes do ar podem ser gases ou partículas, provenientes de diferentes fontes emissoras.

Em geral, os poluentes atmosféricos causam manifestações inespecíficas nas áreas expostas do corpo, principalmente na pele, nas vias aéreas, nos olhos e na boca (**tabela 2**).

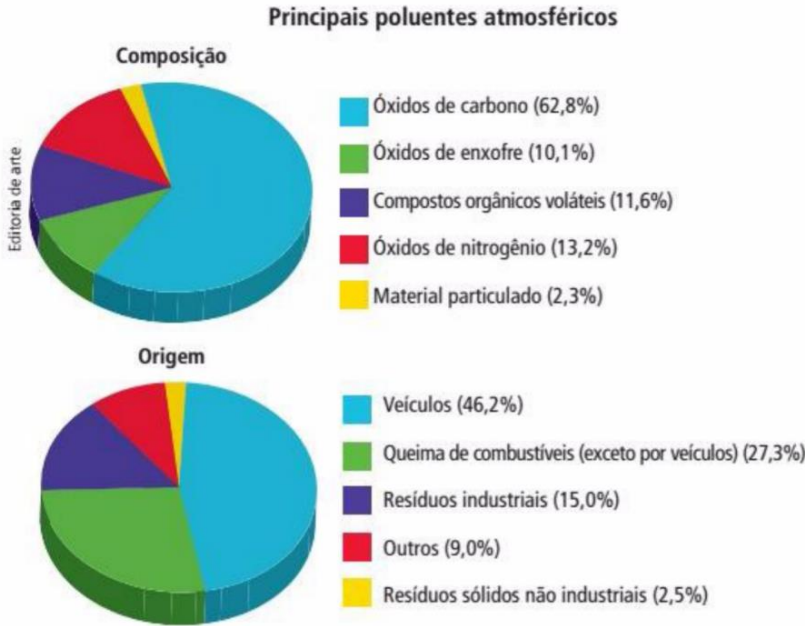
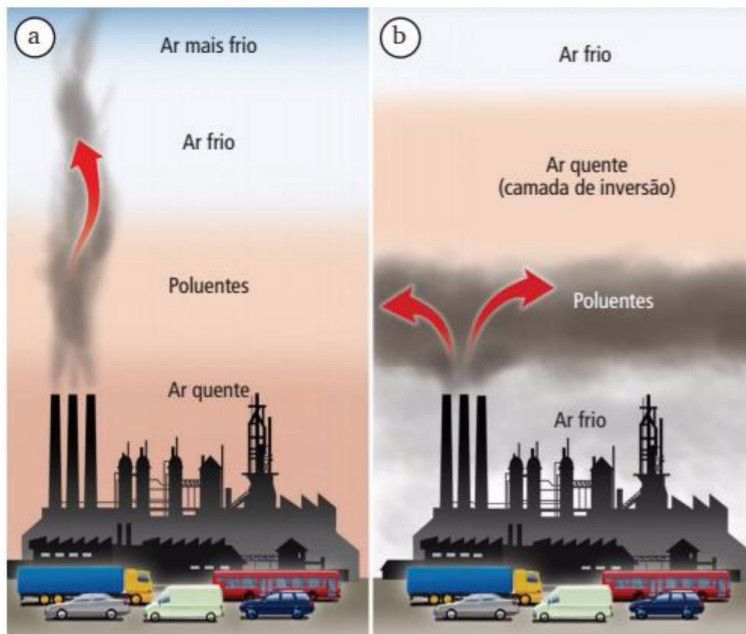


Figura 3. Composição e origem dos principais poluentes atmosféricos.

Fonte: BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. *Environmental Science*. New York: J. Wiley, 2014.

Tabela 2. Poluentes atmosféricos			
Poluentes	Componentes	Fontes de emissão	Efeitos
Material particulado	Partículas sólidas ou gotículas (poeira, fuligem, chumbo, asbesto e ácido sulfúrico).	Veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outras.	Tosse, crises de asma, facilita o aparecimento de pneumonia; pode prejudicar a visibilidade, determinando o fechamento de aeroportos.
Óxidos de nitrogênio	Óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N ₂ O) e dióxido de nitrogênio (NO ₂).	Formados durante processos de combustão (industriais e escape de veículos automotores).	Irritação das vias aéreas e dos olhos, asfixia e morte (em alta concentração).
Óxidos de enxofre	Dióxido de enxofre (SO ₂) e trióxido de enxofre (SO ₃).	Queima de combustíveis que contêm enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina; centrais termelétricas.	Irritação das vias aéreas, dos olhos e da boca.
Óxidos de carbono	Dióxido de carbono (CO ₂) e monóxido de carbono (CO).	Queima de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa etc.).	O monóxido de carbono dificulta o transporte de oxigênio pelo sangue, podendo causar a morte.
Compostos orgânicos voláteis	Hidrocarbonetos (metano, benzeno, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) e aldeídos (metanal e etanal).	Gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros compostos orgânicos voláteis.	Irritação dos olhos, da pele e das vias aéreas, anemia, comprometimento das defesas orgânicas, câncer, lesões do sistema nervoso.
Chumbo	Presente na gasolina e em aditivos, cujo uso vem sendo abandonado.	Centrais termelétricas e combustão.	Saturnismo (lesões do sistema nervoso, dos rins e anemia).
Ozônio (O ₃)	Origina-se de óxidos de nitrogênio e de hidrocarbonetos.	Formado pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar.	Irritação dos olhos e das mucosas; facilita a ocorrência de infecções respiratórias.

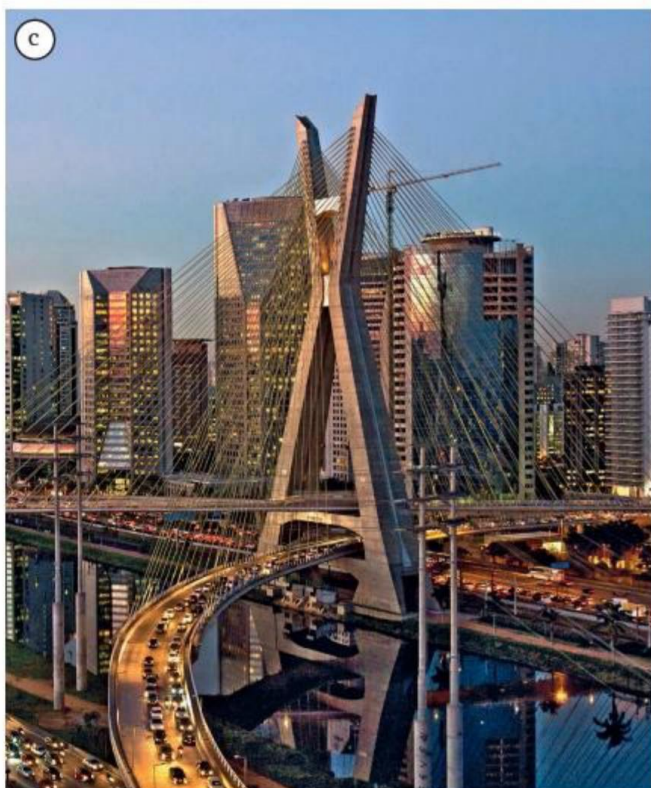
O ozônio da estratosfera (camada da atmosfera situada, em média, entre 10 km e 50 km de altitude) dificulta a passagem dos raios UV. Na troposfera (camada situada, aproximadamente, da superfície terrestre até 10 km de altitude), sua presença em excesso é prejudicial aos seres vivos.



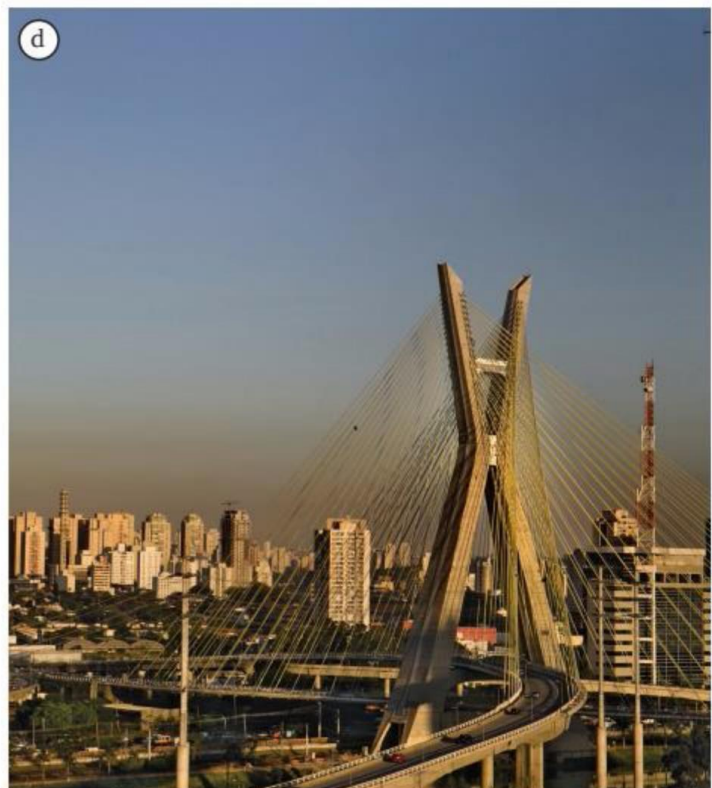
Ilustrações: Bourdier

► Inversão térmica

A luz solar aquece o solo, que, por sua vez, aquece o ar. O ar quente é menos denso e sobe, carregando e dispersando poluentes (gases e partículas sólidas em suspensão). No inverno, o ar fica mais frio e mais denso, acumulando-se sobre as cidades como um manto de poluentes. A entrada de luz solar é dificultada, retardando o aquecimento do solo e, consequentemente, do ar. Diminuindo a movimentação ascendente do ar, a camada de poluentes permanece mais tempo sobre as cidades. Esse bloqueio, provocado pela **inversão térmica** (figura 4), pode ser rompido por ventos fortes. A inversão térmica provoca problemas oculares, respiratórios e cardíacos, que podem ser fatais.



Claudio Rossi/Olhar imagem



Fabio Braga/Folhapress

Figura 4. Representação de (a) condições habituais de dispersão dos poluentes e (b) inversão térmica. Nas fotografias, (c) São Paulo (SP) em dia de 2012 com condições habituais de dispersão de poluentes e (d) São Paulo (SP) com faixa visível de poluição em dia de 2014 em que ocorreu inversão térmica.

► Medidas de controle da poluição atmosférica

O despejo de poluentes pelas indústrias pode ser diminuído pelo uso de filtros, que reduzem em mais de 90% a liberação de material particulado para a atmosfera. A substituição dos combustíveis empregados é eficaz. Em vez de óleo diesel, as indústrias podem usar gás natural, pois a quantidade de poluentes eliminados é menor, bem como seus efeitos tóxicos. Além disso, devem ser usados preferencialmente equipamentos e motores de alto rendimento, capazes de obter a mesma quantidade de energia com a queima de menor quantidade de combustíveis. Todavia, a substituição por fontes limpas de energia, como a solar, pode ser considerada a solução ideal.

As alternativas de redução da emissão de poluentes pelos veículos automotores incluem, inicialmente, a substituição da fonte energética: em vez de combustíveis fósseis, o uso de energia de fontes menos poluentes, como a eletricidade.

Outra forma são as alternativas ao transporte individual por meio da melhoria dos transportes coletivos, particularmente os menos poluentes, como metrô e trens (**figura 5**).

No Brasil, parte da frota de veículos é movida a etanol (ou álcool etílico), produzido pela fermentação da sacarose obtida da cana-de-açúcar. Comparativamente à gasolina, o etanol libera menor quantidade de óxidos de enxofre e de nitrogênio, mas libera maior quantidade de aldeídos. Na década de 1980, foram desenvolvidos os conversores catalíticos (ou catalisadores): instalados no escapamento dos automóveis, reduzem em até 95% a emissão de poluentes, principalmente de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos.

Para melhorar o ar das grandes cidades, temos que levar em consideração quatro pontos importantes. São pontos relacionados com as fontes móveis de emissão de contaminantes atmosféricos: automóveis de passeio, moto, caminhões e ônibus.

O primeiro ponto é a renovação da frota veicular. Um automóvel com mais de dez anos é, em média, 70 vezes mais poluente que um zero-quilômetro. Em segundo lugar, por causa do impacto da frota veicular, é preciso que as normas que regulam as emissões sejam mais restritivas.

Outro ponto importante é a produção de combustíveis mais limpos. Tanto na Cidade do México como em São Paulo, a gasolina queimada pelos motores ainda contém enxofre. O tipo de diesel usado também é altamente poluente.

Por fim, um bom planejamento do transporte público é a maneira mais adequada de se retirarem os veículos das ruas. Corredores de ônibus, desde que com veículos elétricos ou que usem combustíveis que emitam pouco carbono, seriam ideais.

Lineu Kohatsu/Olhar Imagem



Figura 5. Metrô, transporte urbano econômico, rápido e menos poluente.

A notícia

Sustentabilidade começa em casa

Tenho visto a sociedade debater sustentabilidade com foco apenas na escassez futura de água, de verde e de ar limpo.

Porém poucas práticas são tão insustentáveis quanto as tentativas de pessoas e de empresas de serem sustentáveis. Afinal, plantar ou abraçar uma árvore é um bom começo, mas raramente esse começo se repete por semanas ou meses

seguidos. É como se aquele que plantou uma árvore já tivesse prestado contas com a natureza, voltando à sua rotina de desperdícios e de poluição com menor peso na consciência.

Não vejo sentido em uma atividade iniciada e não encerrada, seja você um simples trabalhador, uma grande empresa ou o ministro Cezar Peluso. De sustentáveis, práticas cidadãos feitas

uma ou duas vezes na vida têm apenas a inspiração.

Ser sustentável é mais do que fazer um gesto eventual pelo futuro. Sustentabilidade começa em casa, pelo que você faz para que sua existência não se torne um problema para as demais pessoas neste mundo. Isso tem a ver com como você aproveita a água, a energia, os insumos e os alimentos [...].

CERBASÍ, G. Sustentabilidade começa em casa. **Folha de S.Paulo**, 27 ago. 2012.

Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/63023-sustentabilidade-comeca-em-casa.shtml>>.

Acesso em: mar. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler o texto, responda:

1. Cite práticas sustentáveis que já fazem parte do seu dia a dia.
2. Discuta o paradoxo contido nesta afirmativa: “[...] poucas práticas são tão insustentáveis quanto as tentativas de pessoas e de empresas de serem sustentáveis”.

Clorofluorcarbonos e camada de ozônio

A camada de ozônio, situada entre 15 km e 45 km de altitude, na estratosfera, absorve a radiação ultravioleta (UV) do Sol, impedindo que a maior parte dela atinja a superfície terrestre.

Os **clorofluorcarbonos** (CFCs) são gases que, até há alguns anos, eram largamente empregados como propelente de aerossóis, nas tubulações de geladeiras e condicionadores de ar (gás freon) e na produção de plásticos injetados, como o isopor. Fracionados na estratosfera, os CFCs liberam átomos de cloro, que se combinam com o ozônio (O_3), provocando sua destruição e a formação de oxigênio (O_2). Com a diminuição da quantidade de ozônio na estratosfera, pode ocorrer maior penetração de radiação ultravioleta (**figura 6**). Outras substâncias, como o tetracloreto de carbono e o metilbrometo, possuem ação semelhante à dos CFCs.

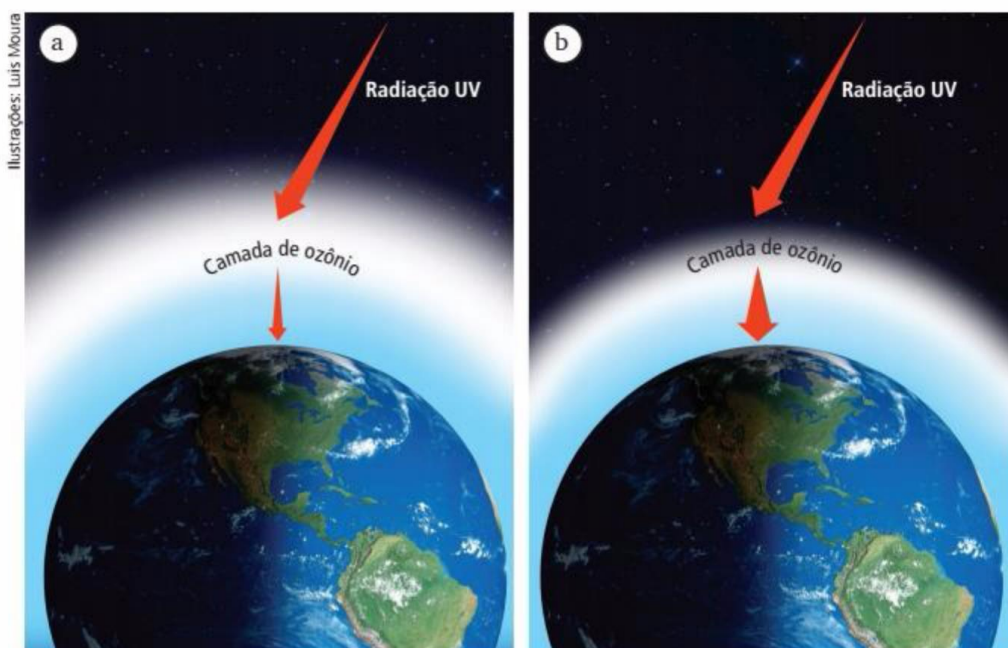


Figura 6. Em (a), nota-se pequena penetração de radiação UV, barrada pela camada de ozônio. (b) Com a rarefação da camada de ozônio (representada esquematicamente), a Terra recebe maior quantidade de UV. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Os CFCs, cuja produção está proibida em todo o mundo desde 2010, foram substituídos por outras substâncias, como os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs).

A radiação UV causa vermelhidão, queimaduras e bronzeamento da pele; provoca queimadura da córnea e da conjuntiva, que causa dor, embaçamento da visão, intolerância à luz, lacrimejamento e dificuldade de manter os olhos abertos; aumenta a ocorrência de catarata (opacificação do cristalino); diminui a capacidade de defesa dos animais contra infecções; provoca alterações nas moléculas de DNA, acarretando o desenvolvimento de mutações e de câncer de pele.

Quando expostas excessivamente à radiação UV, as plantas também sofrem redução da área total de folhas, do comprimento das raízes e da atividade fotossintética. A radiação UV destrói o fitoplâncton; com a rarefação da camada de ozônio sobre a Antártida, já ocorreu queda da produtividade de matéria orgânica, afetando toda a comunidade, pois o fitoplâncton serve de alimento para o zooplâncton, e ambos alimentam crustáceos, peixes, aves e mamíferos marinhos.

A camada de ozônio, principalmente sobre a Antártida, diminui sazonalmente, sobretudo na primavera e no começo do verão no Hemisfério Sul (de setembro a dezembro), quando se reduz em até 50%. Essa redução tem sido incorretamente chamada de “buraco de ozônio”, embora a expressão tecnicamente correta seja **rarefação da camada de ozônio**.

A rarefação da camada de ozônio varia em razão das latitudes: muito pequena sobre a linha equatorial, aumenta na zona temperada e atinge o máximo nas latitudes polares dos dois hemisférios. Sobre o Polo Sul, entretanto, sua rarefação é bem maior que sobre o Polo Norte.

Chuva ácida, a poluição sem fronteiras

Além de gás carbônico, a queima de carvão e de derivados de petróleo também produz dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 e N_2O), que se combinam com a água, na atmosfera, formando ácido sulfúrico e ácido nítrico, respectivamente. Quando chove, esses ácidos precipitam-se misturados à água, constituindo a **chuva ácida**.

O pH da água destilada é igual a 7,0. Em regiões não poluídas, a chuva apresenta pH perto de 5,6. Na Grande São Paulo e em outras regiões do planeta, como na costa leste dos Estados Unidos, na Europa Central e em Tóquio, têm sido encontrados valores próximos a 4,5.

Os gases causadores de chuvas ácidas originam-se principalmente de indústrias e usinas termelétricas que queimam carvão ou petróleo; secundariamente, de veículos automotores. As chuvas podem se precipitar a milhares de quilômetros da fonte de emissão dos poluentes, os quais são levados por ventos das altas camadas da troposfera (**figura 7**).

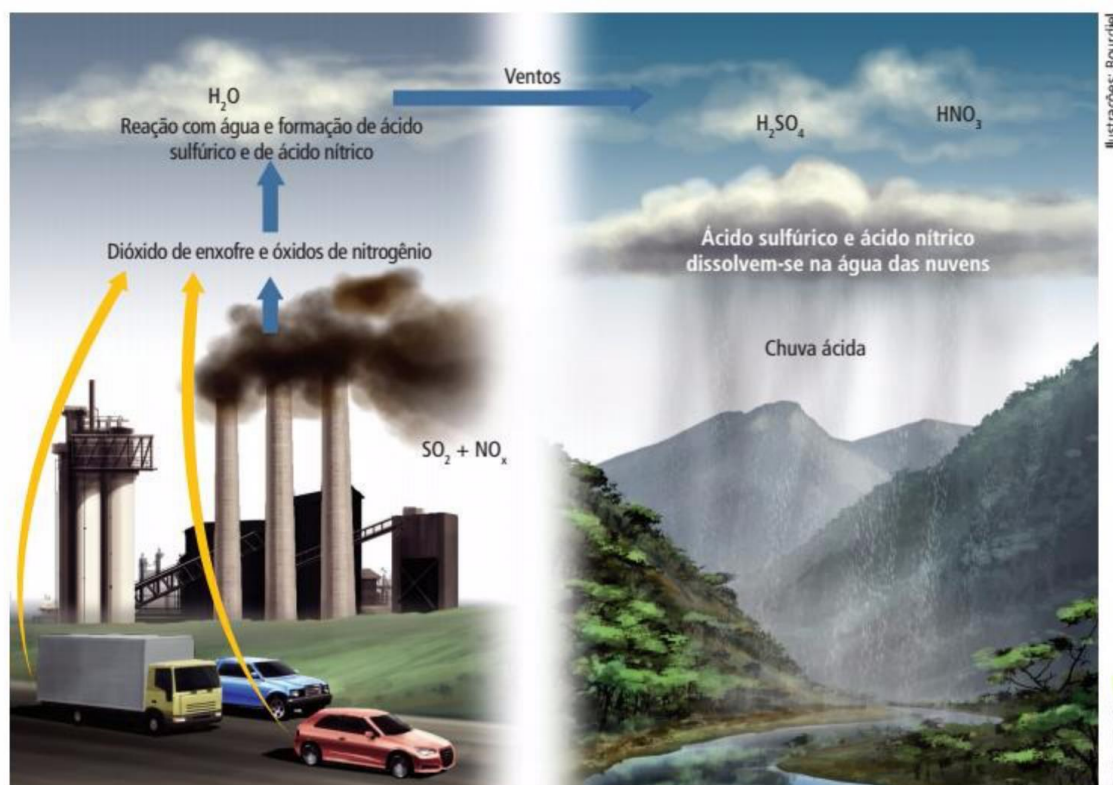


Figura 7. A chuva ácida acidifica o solo e a água e provoca a morte de plantas, animais, algas e microrganismos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

As chuvas ácidas alteram a composição química do solo e das águas, atingindo as cadeias alimentares, com prejuízos para as florestas e lavouras. Além disso, estruturas metálicas, monumentos e edificações arquitetônicas estão sendo afetados pela frequente ocorrência da chuva ácida, como os monumentos históricos da Acrópole (em Atenas), o Coliseu (em Roma) e esculturas em mármore, entre outros (**figura 8**).



Figura 8. (a) Floresta afetada pela chuva ácida na Carolina do Norte (EUA), 2012. (b) Obras de arte e monumentos arquitetônicos também são afetados, como essas estátuas expostas na praça Bueno Aires, São Paulo, 2015. (c) A Baixada Santista, no estado de São Paulo, é a região brasileira mais afetada por chuva ácida (na fotografia, Cubatão, 2013).

Aquecimento global: evidências e incertezas

A temperatura da Terra, que permite o desenvolvimento e a manutenção da vida, é determinada pelo equilíbrio entre a quantidade de energia recebida do Sol e a quantidade que a superfície e a atmosfera devolvem para o espaço. Do total da radiação solar que alcança nosso planeta, cerca de um terço é imediatamente refletido; o restante é absorvido pela atmosfera, superfície (solo ou água) e organismos fotossintetizantes. Como a reflexão do solo é menor que a das folhagens, o desflorestamento aumenta a fração da energia que atinge o solo e é absorvida. Por isso, as regiões desmatadas em geral se aquecem.

A radiação que percebemos mais facilmente é a luz visível, que faz parte de uma ampla categoria de formas de energia, chamadas radiações eletromagnéticas.

A radiação infravermelha, outro tipo de radiação eletromagnética, não é vista pelos olhos humanos, mas pode ser sentida na pele como calor. A radiação ultravioleta também não é vista, mas é a responsável por queimaduras da pele durante a exposição excessiva ao Sol. Aquecida pela luz solar durante o dia, a Terra dissipa calor (até mesmo à noite) na forma de radiação infravermelha; trata-se da **radiação terrestre**.

Calor da Terra

O vidro tem uma propriedade notável: a retenção de calor (**figura 9**). Quando alguém entra em um automóvel estacionado ao Sol com os vidros fechados, nota claramente que a temperatura no interior do veículo está mais alta que no exterior. A luz visível penetra pelos vidros do automóvel; parte dessa energia é refletida, e parte é absorvida. Dessa fração absorvida, uma parcela é devolvida como radiação infravermelha, que, ao atingir o vidro, é refletida para o interior do veículo, acentuando o aquecimento.

Os gases são absorvedores seletivos, isto é, absorvem certas radiações e deixam passar outras. Os gases atmosféricos (principalmente o vapor de água e o gás carbônico) são transparentes à radiação solar, mas são opacos à radiação terrestre (infravermelha). Os gases com maior capacidade de reter calor são denominados **gases de efeito estufa** (vapor de água, CO_2 , CH_4 , N_2O etc.) e têm comportamento semelhante ao do vidro, contribuindo para a elevação da temperatura do ar atmosférico. Alguns gases de efeito estufa são oriundos de emissões naturais. O vapor de água, por exemplo, é gerado pela evaporação da água; o gás carbônico origina-se, até mesmo, da atividade vulcânica.



Figura 9. As paredes de vidro de uma estufa de plantas permitem a entrada da radiação solar, mas dificultam a saída da radiação infravermelha, mantendo o ambiente interno mais aquecido que o externo.

Ao absorver a radiação terrestre e se aquecer, a atmosfera retém calor e passa, ela própria, a emitir radiação infravermelha. Parte dessa radiação retorna à superfície do planeta. Essa contínua troca de calor entre a superfície e a atmosfera impede que a Terra esfrie demasiadamente. Tal fenômeno é denominado **efeito estufa**, tem ocorrência natural e garante que a temperatura de nosso planeta não caia acentuadamente, mesmo à noite.

▶ A definição de **efeito estufa** é controversa. Alguns autores o definem como a retenção excessiva de calor na atmosfera, provocada pelo acúmulo de poluentes. Logo, seria um evento anormal. Optamos por tratar o efeito estufa como um processo normal, que pode ser exacerbado pelos poluentes.

▶ Carbono

Na Terra, a maior parte do carbono encontra-se como **matéria orgânica**, constituída por moléculas dos seres vivos e depósitos de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), e **gás carbônico** (CO_2), presente no ar ou dissolvido na água (**figura 10**).

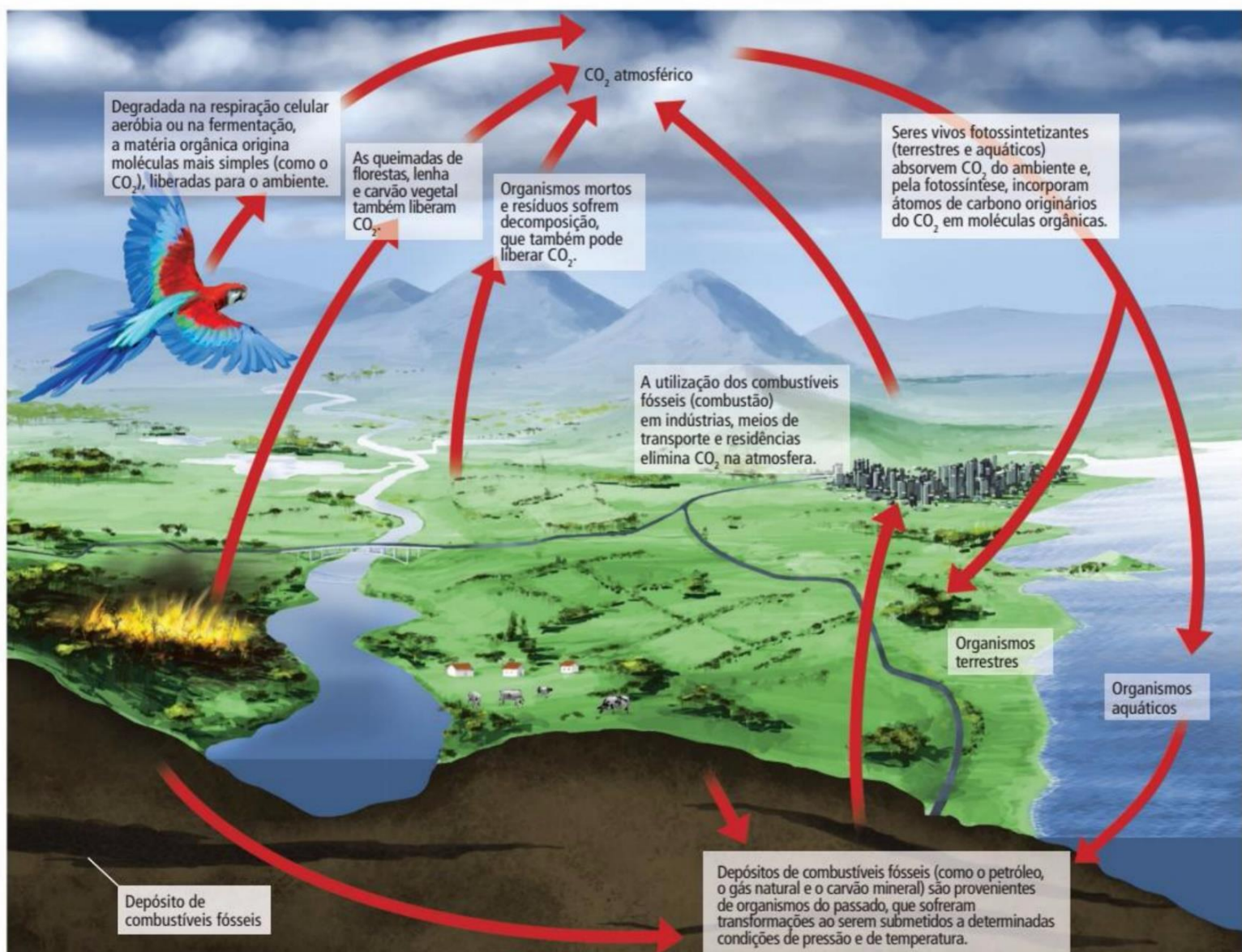


Figura 10. Representação esquemática do ciclo do carbono. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A interferência humana no ciclo do carbono tem promovido aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera pelo consumo exagerado de combustíveis fósseis (que aumenta a liberação de gás carbônico), remoção da cobertura vegetal e poluição dos mares por vazamentos de óleo (que reduzem a captação de gás carbônico atmosférico na fotossíntese das plantas terrestres e do fitoplâncton, respectivamente).

As queimadas em plantações ou pastagens já estabelecidas não contribuem significativamente para as emissões globais de gás carbônico, pois o gás eliminado é posteriormente incorporado pelas culturas em crescimento, por meio da fotossíntese. A queima de madeira em florestas, todavia, representa emissão importante, porque o carbono liberado não é reincorporado, exceto a longo prazo.

▶ No ano de 2008, a Petrobras anunciou a descoberta de um conjunto de reservatórios petrolíferos, situados abaixo da camada de sais (5 a 7 mil metros abaixo do nível do mar) no subsolo do oceano Atlântico (na chamada **camada pré-sal**), estendendo-se do norte da bacia de Campos ao sul da bacia de Santos. Chegar até o óleo, extraí-lo e trazê-lo até as plataformas é um trabalho difícil e requer avançada tecnologia, mas, caso se confirmem as estimativas da quantidade de petróleo existente, o Brasil poderá tornar-se autossuficiente nesse recurso e até mesmo um grande exportador mundial.

▶ Teoria do efeito estufa

A Terra se aqueceu de 0,5 °C a 1,0 °C nos últimos cem anos. Segundo a **teoria do efeito estufa**, o atual ciclo de aquecimento está sendo causado principalmente pela emissão excessiva de gases de efeito estufa, que conduziria a um aumento nas temperaturas médias globais, até 2100, de 2,0 °C a 5,5 °C.

Outro indicador apontado pelos que associam as alterações climáticas à influência humana é a elevação média de 10 cm a 25 cm do nível médio dos oceanos, nos últimos cem anos, que teria sido provocada pelo aquecimento das águas oceânicas e derretimento de geleiras. Um estudo da Universidade Columbia (EUA) prevê que a elevação do nível do mar poderá transformar a cidade de Nova York em uma “nova Veneza”. A intensificação do efeito estufa e o aquecimento global acarretariam ainda alterações no regime de chuvas e nas correntes atmosféricas e marinhas.

Segundo as previsões, poderá ocorrer um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, tais como enchentes, tempestades, furacões e secas. O *El Niño*, um evento climático que ocorre regularmente a cada 5 ou 7 anos, poderá se tornar mais intenso e frequente, provocando fortes secas no Norte e Nordeste e chuvas torrenciais no Sudeste do Brasil. Poderá também haver uma diminuição ainda maior na cobertura de gelo da Terra tanto no Ártico quanto na Antártida.

A vida humana também seria afetada pelo aquecimento global. A incidência de doenças, a disponibilidade de terras agricultáveis, as fontes de energia e a oferta de água e de alimentos seriam atingidas pelas mudanças globais decorrentes da elevação da temperatura média do planeta.

Bem elaborado, o humor pode estimular a reflexão sobre temas complexos, com o uso de textos verbais e não verbais que escapam ao convencional. A charge abaixo, publicada pelo jornal **Folha de S.Paulo** (13 abr. 2012), retrata dois eventos ou fenômenos separados por um século. Proponha aos alunos que citem quais são eles e expliquem o sentido da charge.



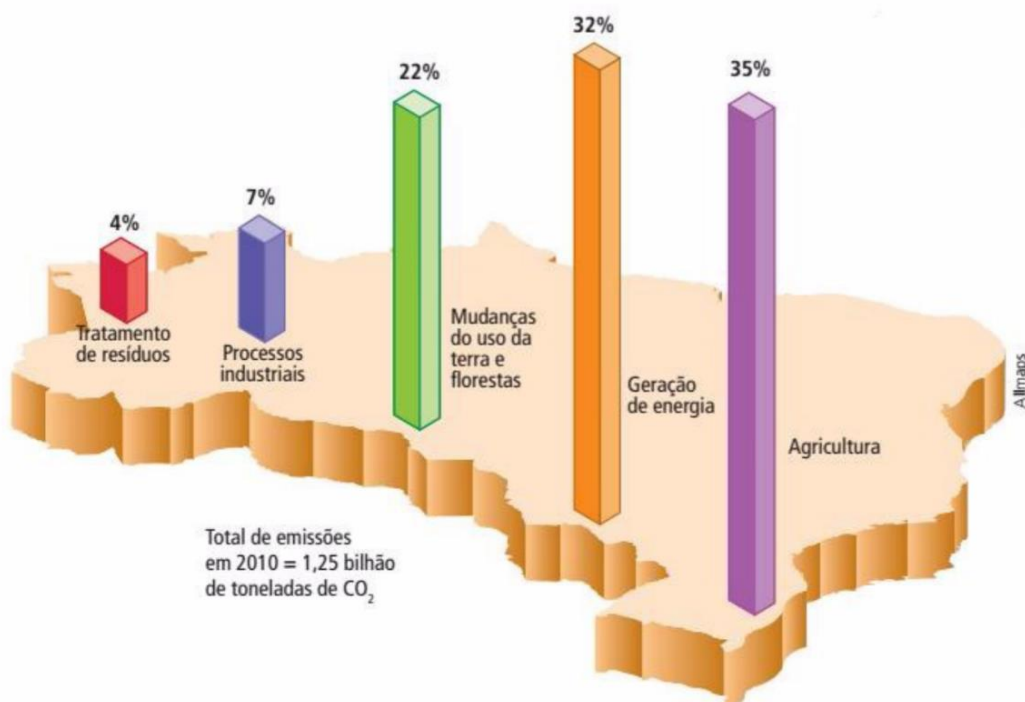
Jean Galvão/Folhapress

► Gases de efeito estufa

O gás carbônico, o metano, o óxido nitroso e o vapor de água são os principais responsáveis pelo efeito estufa. O gás carbônico corresponde hoje a dois terços das emissões humanas de gases de efeito estufa; sua concentração na atmosfera já se elevou em mais de 30%, desde 1750. Ao contrário do que habitualmente se pensa, não são as queimadas de florestas o principal fator do aumento do gás carbônico atmosférico, mas a queima de combustíveis fósseis. Grande parte da energia que movimenta a gigantesca frota de veículos e que impulsiona máquinas agrícolas e motores industriais ou aciona turbinas em usinas termelétricas provém de carvão, gás natural e derivados de petróleo, cuja queima origina grande quantidade de gás carbônico. Em 2012, as emissões globais de gás carbônico foram calculadas em mais 43 bilhões de toneladas, provenientes principalmente de países industrializados e de países em processo acelerado de desenvolvimento, como China e Índia (**figura 11**). No Brasil, a maior parte das emissões de gás carbônico provém da agropecuária. Pelos padrões internacionais, a emissão de gás carbônico na queima de combustíveis fósseis é baixa, e a matriz energética brasileira ainda é considerada relativamente limpa, uma vez que se baseia em energia hidrelétrica, que é renovável (**figura 12**). Porém, o aumento do uso de centrais termelétricas movidas a combustíveis fósseis elevou a emissão por essas fontes de 17% (em 2005) para 32% (em 2010). No mesmo intervalo, as emissões totais diminuíram bastante, principalmente pela redução da emissão por queimadas florestais.

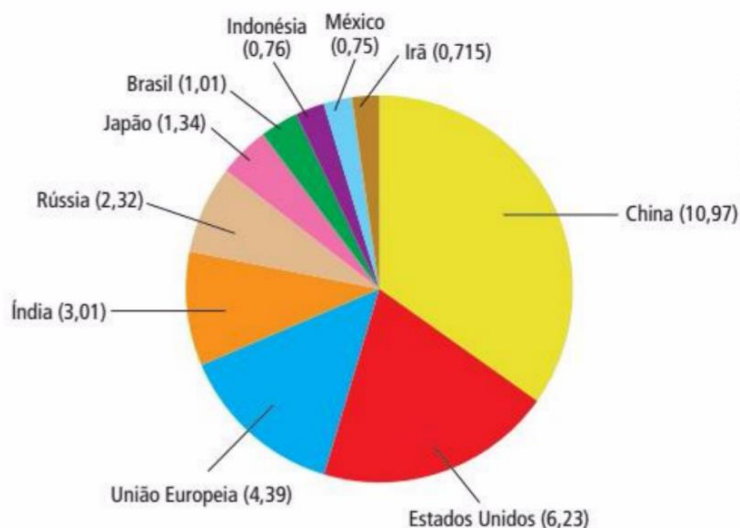
Parte da radiação solar que incide sobre a Terra converte-se em radiação infravermelha (calor), que se dissipa para o espaço. Na atmosfera, o gás carbônico e outros gases aprisionam uma parcela dessa radiação, aquecendo a Terra. O aumento da concentração de gases de efeito estufa (principalmente de gás carbônico) acentua a retenção de calor, elevando a temperatura da atmosfera.

Fontes de emissão de gás carbônico para a atmosfera no Brasil



Fonte: Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

Os dez maiores poluidores do mundo (em bilhões de toneladas de CO₂ produzidos em 2012)



Fonte: World Resources Institute (WRI). Disponível em: <<http://www.wri.org/blog/2015/06/infographic-what-do-your-countrys-emissions-look>>. Acesso em: mar. 2016..

Figura 11. O gráfico mostra as emissões de CO₂, em bilhões de toneladas anuais, em vários países do mundo.

Leia mais sobre o efeito estufa no artigo **Emissão de gás carbônico no mundo tem maior salto desde 1984**, disponível em: <<http://tub.im/hrxmhh>>. Acesso em: mar. 2016.

Figura 12. Fontes emissoras brasileiras de carbono para a atmosfera. (Mapa meramente ilustrativo.)

Às vezes, a expressão “vilões do aquecimento” é usada para designar os gases de efeito estufa; contudo, o verdadeiro vilão das mudanças climáticas é nosso modo de vida e nossa desenfreada demanda por energia.

O que o **aquecimento** global poderá causar ao **Brasil**?

1

A Terra recebe continuamente grande quantidade de energia do Sol. Parte da radiação solar converte-se em radiação infravermelha.

2

A temperatura da Terra depende do equilíbrio entre a quantidade de energia retida (pela superfície e pela atmosfera) e a quantidade de energia refletida. Os gases atmosféricos (principalmente o vapor de água e o CO_2) são transparentes à radiação solar, mas opacos à radiação terrestre (infravermelha). Ao absorver a radiação terrestre e se aquecer, a atmosfera retém calor e passa, ela própria, a emitir radiação infravermelha.

3

Parte dessa radiação retorna à superfície terrestre. Essa contínua troca de calor entre a superfície e a atmosfera impede que a Terra esfrie demasiadamente. Esse fenômeno é chamado efeito estufa.

4

O consumo exagerado de combustíveis fósseis, a remoção da cobertura vegetal e as queimadas em florestas aumentam a emissão dos gases de efeito estufa (principalmente CO_2 , metano e óxido nítrico). O aumento da concentração desses gases acentua a retenção de calor e provoca o aquecimento global.

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)



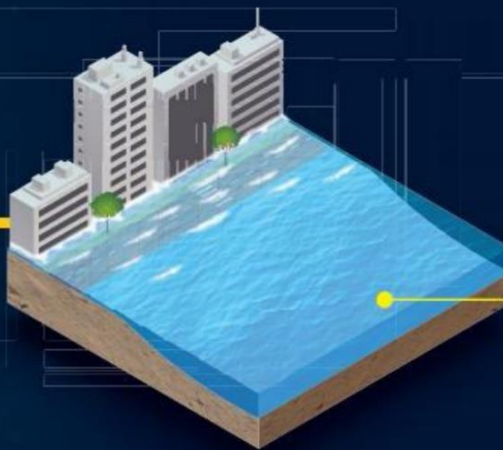
Quando uma floresta é queimada, libera grande quantidade de CO_2 , cuja reincorporação por meio da fotossíntese é lenta e pode nem ocorrer, caso a área não se regenere.



As emissões antropogênicas de metano associam-se à decomposição da matéria orgânica submersa em represas de usinas hidrelétricas, à criação de gado bovino e a lixões e aterros sanitários.

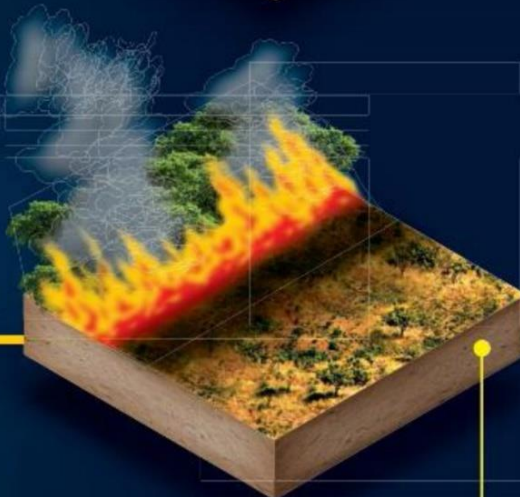


A interferência humana no ciclo do carbono tem promovido aumento da concentração de CO_2 na atmosfera pelo consumo excessivo de combustíveis fósseis (por veículos automotores e pelas indústrias).



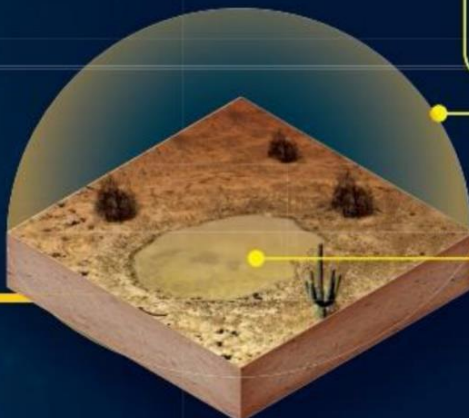
Alterações nas regiões litorâneas

A elevação do nível médio dos oceanos decorreria da fusão parcial de geleiras e das calotas polares e da expansão do volume da água, ocasionada pela dilatação térmica. Cidades litorâneas (como Salvador e Florianópolis) seriam **parcialmente invadidas** pelas águas. Os sistemas de abastecimento de água potável e de coleta de esgotos, invadidos pela água do mar, seriam danificados. Obras de contenção precisariam ser edificadas.



Alterações na Floresta Amazônica

O aquecimento global pode provocar a perda da quantidade de folhas e, conseqüentemente, a redução da superfície foliar e da intensidade da fotossíntese. A redução da biomassa vegetal também pode acarretar diminuição da evapotranspiração e da quantidade de chuvas que cai sobre a floresta. A redução da fotossíntese e da pluviosidade podem levar a uma progressiva diminuição da diversidade vegetal e ao ressecamento e à acidificação do solo, processo conhecido por **savânização da floresta**.



Alterações no semiárido nordestino

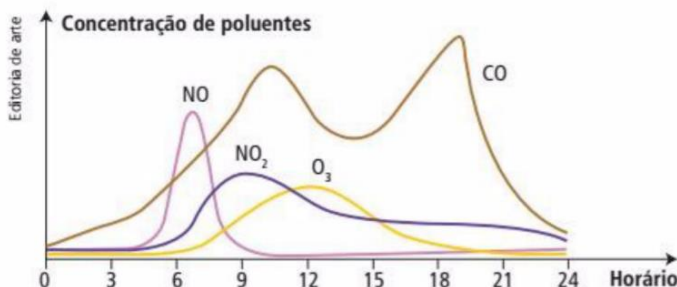
Massas de ar mais quente tenderiam a barrar a progressão de frentes frias, tornando os **períodos de estiagem mais longos e intensos**, com reflexos na atividade agropecuária. Os rios perenes tenderiam a tornar-se intermitentes, **dificultando o enchimento de açudes** e a **geração de energia elétrica**.



Alterações da dinâmica climática

O aquecimento mais intenso das águas oceânicas superficiais aumenta a intensidade da evaporação e a velocidade dos ventos, podendo elevar a frequência de fenômenos climáticos extremos, como ciclones. O avanço de **tempestades sobre as áreas litorâneas** aumentaria o risco de **inundações**.

1. O gráfico a seguir refere-se às variações das concentrações de poluentes na atmosfera, no decorrer de um dia útil, em um grande centro urbano.



Fonte das informações: NOVAIS, V. *Ozônio: aliado e inimigo*. São Paulo: Scipione, 1998.

As seguintes explicações foram feitas para essas variações:

- A concentração de NO diminui e a de NO₂ aumenta em razão da conversão de NO em NO₂.
- A concentração de monóxido de carbono (CO) no ar está ligada à maior ou menor intensidade do tráfego.
- Os veículos emitem óxidos de nitrogênio apenas nos horários de pico de tráfego do período da manhã.
- Nos horários de maior insolação, parte do ozônio da estratosfera difunde-se para camadas mais baixas da atmosfera.

Dessas explicações, quais são plausíveis? Justifique.

- Em determinados períodos do ano, o ar fica mais frio e mais denso, acumulando-se sobre as cidades como um manto de poluentes, caracterizando o fenômeno denominado inversão térmica. A respeito desse fenômeno ambiental, faça o que se pede:
 - Explique por que ele é mais comum em dias frios.
 - Relacione a ocorrência dos episódios de inversão térmica com as características topográficas da cidade (se ela está localizada em uma planície ou à beira-mar, se é circundada por montanhas etc.).
- (UFF-RJ) A incidência da radiação solar ultravioleta (RUV) na superfície do nosso planeta é filtrada pela camada de ozônio existente na atmosfera. A produção dessa camada deve-se à interação da própria RUV com moléculas de O₂. Com relação às grandes falhas na camada de ozônio observadas em algumas regiões de nosso planeta, pergunta-se:
 - Quais suas principais causas?
 - De que forma ocorrem?
 - Quais suas principais consequências?

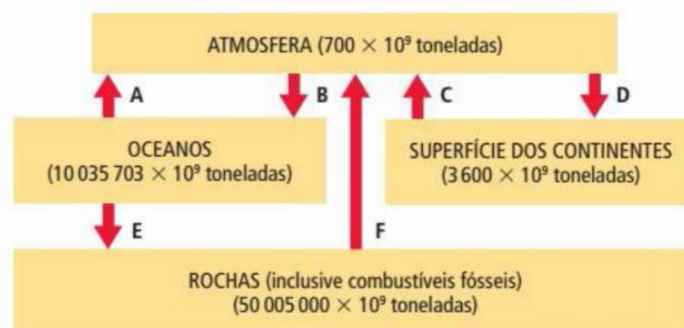
4. (Fuvest-SP)

Se as usinas elétricas utilizam madeira em lugar de combustíveis fósseis e se novas árvores são plantadas constantemente para substituir aquelas queimadas nas usinas, não é liberado dióxido de carbono adicional.

Folha de S.Paulo, 18 out. 1997.

- O que são combustíveis fósseis? Dê um exemplo.
- Por que a queima da madeira não liberaria dióxido de carbono adicional para a atmosfera, desde que novas árvores fossem constantemente plantadas?

- (UFF-RJ) Sabe-se hoje que a chuva ácida prejudica tanto os ecossistemas terrestres quanto os aquáticos. Seus efeitos acarretam problemas de desenvolvimento e sobrevivência de muitos animais. Maior controle sobre as indústrias e utilização de equipamentos antipoluição representam medidas que podem conduzir à diminuição da ocorrência desse fenômeno. Descreva de forma sucinta como ocorre esse tipo de precipitação.
- (Fuvest-SP) No esquema abaixo, os retângulos representam os quatro maiores reservatórios do elemento carbono em nosso planeta e as setas indicam o fluxo de carbono entre esses reservatórios.



Fonte: TRABALKA, J. K.; REICHLER, D. E. (ed.) *The Changing Carbon Cycle: a global analysis*; Springer, Nova York, 1986.

Indique, justificando:

- os fluxos que incluem os processos de fotossíntese, respiração aeróbica e fermentação, realizados pelos seres vivos atuais.
 - o fluxo que é diretamente afetado pelas usinas termelétricas a carvão mineral.
- (Unicamp-SP) Pesquisadores não têm mais dúvidas de que, a longo prazo, a intensificação do efeito estufa transformará a vida no planeta. As queimadas de florestas têm sido frequentemente citadas como um dos agentes causadores da intensificação desse efeito, mas a maior parte dos cientistas não concorda, citando outro fator.
 - No que consiste o efeito estufa?
 - Qual é o fator considerado pela maior parte dos cientistas como o principal agente causador da intensificação desse efeito?
 - Estudos mostraram que a intensificação do efeito estufa poderá, teoricamente, provocar alterações no nível dos oceanos e na produção agrícola. Explique como isso seria possível em cada um dos casos.
 - (UFC-CE)

A ideia de que é inevitável conter as emissões de gás carbônico na atmosfera se concretizou durante a conferência da ONU sobre o meio ambiente. [...] Para não ter de diminuir o ritmo de sua produção industrial ou investir em tecnologias limpas e muito caras, algumas empresas estão preferindo compensar o que despejam na atmosfera plantando árvores em áreas desmatadas.

Mansur, A. Veja.

Sobre esse tema, responda:

- Qual a principal consequência do acúmulo de CO₂ na atmosfera? Justifique sua resposta.
- Em que se baseia a ideia do plantio de árvores para compensar as emissões de CO₂?

Como atender às necessidades energéticas do país de forma sustentável?

Maurício Simonetti/P. Ubar



Complexo eólico em São Miguel do Gostoso, RN, 2015.

Texto 1

Francisco Gomide,
Ministério das Minas e Energia
(Representante das empresas)

A resposta a esta questão é aparentemente simples: mediante a formulação de uma política nacional integrada de desenvolvimento energético e de meio ambiente, de longo prazo, que contemple, por um lado, os recursos energéticos nacionais e sua magnitude e, por outro, o atendimento pleno e otimizado da demanda, aplicações em conservação e investimentos em tecnologia. Porém, esta simplicidade é aparente. A grande dificuldade reside na formulação, implementação e acompanhamento dessa política.

Trata-se, em verdade, de uma questão de vontade política, uma vez que não faltam os meios necessários. Por exemplo, muito se investiu em uma importante ferramenta de planejamento energético integrado: a “Matriz Energética Brasileira”. Esta ferramenta existente parece esquecida e considerada apenas como instrumento para deleite de especialistas e pesquisadores.

Há que se ter em mente que energia é uma questão estratégica. Este atual ambiente de globalização e novo liberalismo da economia mundial coloca três grandes questões: a autossuficiência é possível e desejável? Em caso negativo, a que grau de dependência externa deve o País expor-se em um futuro próximo e em um futuro distante? E como fortalecer as diversas esferas de poder nacional para assegurar o suprimento externo sem solução de continuidade?

São questões típicas de planejamento nacional – hoje relegado a segundo plano — e que devem transcender ao planejamento governamental — hoje fragmentado. Destaque-se o planejamento de energia elétrica, atualmente meramente circunscrito ao conceito de “indicativo”, que, na atual conjuntura de reestruturação do setor elétrico, mostrou-se incapaz de cumprir o seu objetivo de pleno atendimento da demanda. Sua debilidade institucional ficou evidenciada pelo recente racionamento, consequência de crise anunciada com grande antecedência.

Desenvolvimento sustentável, segundo relatório da Comissão Mundial para Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (*Brundtland Commission*), é o que “satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazer as suas próprias necessidades”. Em termos de energia, somente as formas renováveis cumprem este princípio. Fontes não renováveis tendem à escassez e, conseqüentemente, a preços crescentes, provocando, inclusive, a utilização de reservas energéticas não renováveis de menor qualidade e maior potencial de danos ambientais, desembocando no legado de um meio ambiente ainda mais degradado para as novas gerações.

A energia hidráulica é a base da geração elétrica no País e o grande potencial para sustentar o crescimento do consumo ainda por muitos anos. Limpa e renovável, a hidroeletricidade vem enfrentando, para o seu desenvolvimento, resistências mais emocionais do que racionais. Em verdade, ela gera mais desenvolvimento do que problemas socioeconômicos. O reassentamento populacional — feito com critério e supervisão — melhora as condições de vida das populações realocadas, traz ao conhecimento sítios arqueológicos e propicia a preservação deste conhecimento, permite para a detecção de nichos ecológicos e sua conservação, contribui para o enriquecimento de bancos genéticos, proporciona um melhor conhecimento da fauna e flora em seus ecossistemas, para não falar nas possibilidades criadas pelo uso múltiplo da água. Portanto, deve continuar sendo o sustentáculo das necessidades de consumo de energia elétrica e, mediante o pagamento pelo uso da água, tornar-se importante instrumento econômico, inclusive para se atingir a competitividade de outras fontes renováveis de energia.

A biomassa — renovável e, como tal, inesgotável — é outra das riquezas nacionais, como fonte de energia, renda e emprego. Há extensão geográfica, tecnologia e recursos para o seu desenvolvimento. Cabe uma especial referência à questão do álcool combustível, este quase que totalmente alijado da matriz energética brasileira pelos interesses imediatistas das chamadas “forças de mercado”. A vulnerabilidade ao suprimento externo de petróleo não deveria permitir tamanha incúria. Ainda que se atingisse a autossuficiência em suprimento de petróleo, seria inadmissível não dar continuidade a um programa de sucesso como esse, que possibilitou ao Brasil minimizar os “choques de petróleo” sofridos na década de 1970. Da sua continuidade depende o desejável e permanente aprimoramento tecnológico da produção e do uso desse combustível (e de seus subprodutos), tão ligado às raízes da formação econômica nacional.

O mapeamento eólico e solar do território brasileiro e o domínio da tecnologia de seu aproveitamento devem ser desenvolvidos em bases menos tímidas e de modo complementar à hidroeletricidade, sempre colimando a competitividade com as demais fontes.

Finalmente há que se olhar mais à frente. Há hidrogênio, energia limpa e renovável como a hidroeletricidade, porém com potencial ilimitado. As águas internas brasileiras e os 8 500 km de costa encorajam ao desenvolvimento da “economia do hidrogênio”. É preciso se investir em pesquisa. Esta é a fonte de energia do futuro a ser integrada à matriz energética.

Refletindo sobre estes poucos tópicos citados e sobre o atual momento de transição, volte-se à assertiva inicial: pode-se dispensar uma política energética nacional, comprometida com o desenvolvimento sustentável e suporte para as políticas energéticas governamentais de menor abrangência temporal? Certamente que não! Há que se decidir, em termos institucionais, onde formulá-la e como desenvolvê-la.

Texto 2

Marco Antonio Trierveiler, Luis Dalla Costa, José Hélio Mecca

Direção do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB)

(Representantes dos movimentos sociais)

Entendemos que sustentável é um modelo em que as necessidades básicas de todo o povo sejam plenamente atendidas (emprego, comida, saúde, educação, terra, moradia, lazer etc.). Nele o ser humano é o centro de todas as preocupações e, de maneira informada, decidirá o futuro com responsabilidade. No caso do modelo de produção de energia, fica clara a opção por aquele que gera mais lucro aos grandes grupos econômicos, ao invés de optar pelo que causaria menos problemas ambientais e sociais ou ainda que pudesse colocar a energia produzida à disposição de todo o povo.

No início dos anos 1970 um evento internacional mudou a situação energética em todo o mundo: a crise do petróleo. Com a elevação dos preços, reforçada por uma segunda crise no final da década, os países centrais passaram a transferir para os periféricos, mais ricos em potencial energético como o Brasil, uma série de indústrias que consomem muita energia. Além do alto consumo de energia, estas indústrias são altamente poluidoras e empregam pouca mão de obra graças a sua automação.

Durante o modelo estatal houve quase que um monopólio do Estado na produção, transmissão e distribuição da energia. Embora as empresas fossem de propriedade estatal, elas nunca foram empresas públicas, no sentido da efetiva participação da população brasileira no controle dessas empresas e nas suas decisões.

Já no início dos anos 1990 inicia-se um processo amplo de privatizações no Brasil. A desestatização fundamentava-se na crença dos nossos governantes de uma maior eficiência do setor privado na gestão destas atividades, na necessidade de redução da dívida pública e na falta de dinheiro para investimento do setor público nas áreas sociais, como a saúde, a educação e a segurança. Porém, o governo baixou os investimentos no setor elétrico, que em 1980 eram de US\$ 13,9 bilhões, para US\$ 4,5 bilhões em 1995 e US\$ 6 bilhões em 1998.

Outro grande problema no modelo brasileiro de produção de energia elétrica é a quase monogeração através da hidroeletricidade. Percebemos claramente que a construção das grandes usinas hidrelétricas é ao mesmo tempo causa e consequência do atual modelo e como tal deve ser combatido, para se buscar alguma possibilidade de produção da energia de forma sustentável. Este modelo é inconcebível no Brasil, país extremamente rico em alternativas energéticas, como a eólica, solar, biomassa e pequenas centrais que, além de mais baratas, acarretam menos problemas sociais e ambientais.

Cabe aqui reforçar que não estamos preocupados somente em como produziremos energia, mas também discutirmos de que forma a utilizaremos nesta sociedade extremamente mercantilista e consumista, em que optamos, por exemplo, por produzir energia para as indústrias eletrointensivas ou ainda para alimentar os *shopping centers*, onde a energia serve para substituir o ar e a luz natural, criando assim um lugar protegido dos “pobres” em contrapartida aos comércios populares de rua.

Ao longo do prazo precisamos construir um novo modelo de sociedade com um novo modelo energético. Porém, a curto prazo precisamos achar saídas deste modelo, e a seguir propomos algumas alternativas de baixo custo, viáveis e não demoradas na sua implantação:

1. Geração de energia a partir da biomassa: somente utilizando o bagaço da cana-de-açúcar poderíamos aumentar em 3 mil MW o potencial instalado. Poderíamos ainda utilizar casca de arroz, serragem, resíduos de papel e celulose.
 2. Geração de energia eólica: o Brasil tem um potencial eólico (energia de ventos) da ordem de 29 mil MW. Os maiores potenciais estão no Nordeste (Ceará e Rio Grande do Norte). Os estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul também têm bom potencial energético.
 3. Pequenas centrais hidrelétricas: o potencial brasileiro estimado pela Eletrobrás é de 9 800 MW. São consideradas PCHs as barragens com até 30 MW e a área inundada pelo reservatório tem de ser menor que 3 km². É importante lembrar que, ao contrário das grandes barragens, uma PCH não exige grandes investimentos e o período de implantação é de dois a três anos.
 4. Repotenciação das usinas com mais de vinte anos: podemos acrescentar até 7 600 MW no sistema, reabilitando e promovendo reparos para melhorias nas usinas já existentes. O custo por MW neste reparo seria de 1/3 a 1/5 do custo MW em uma usina nova.
 5. Redução das perdas no sistema elétrico: o sistema elétrico brasileiro tem perdas operacionais técnicas da ordem de 15%. Se o Brasil adotar um índice de perda 6%, considerado como padrão internacional, o sistema elétrico teria um acréscimo equivalente a 6 500 MW de potência instalada.
 6. Geração através da energia solar e fotovoltaica: o Brasil tem lugares privilegiados devido à insolação. A bacia do Rio São Francisco tem condições excepcionais. Esta seria uma boa alternativa para as propriedades rurais distantes da rede de distribuição.
- Estas alternativas significam aumentar em mais de 40% o potencial instalado no Brasil e acabar com a crise da energia, sem construir nenhuma nova barragem. O importante é que implicam mudanças estruturais que acabam com a crise e servem ao mesmo tempo de suporte para a construção de um novo modelo energético.
- Fonte dos textos: CAMARGO, A. et al. *Meio ambiente Brasil: avanços e obstáculos pós-Rio-92*. São Paulo: Instituto Socioambiental; Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002.

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. (Enem/MEC)

Química Verde pode ser definida como a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente. Sabe-se que algumas fontes energéticas desenvolvidas pelo homem exercem, ou têm potencial para exercer, em algum nível, impactos ambientais negativos.

CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G. (Orgs.). *Química Verde: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EdUFSCar, 2009.

À luz da Química Verde, métodos devem ser desenvolvidos para eliminar ou reduzir a poluição do ar causada especialmente pelas

- a) hidrelétricas.
- b) termelétricas.
- c) usinas geotérmicas.
- d) fontes de energia solar.
- e) fontes de energia eólica.

2. (FGV-SP) A energia eólica passou a ser utilizada de forma sistemática para produção de eletricidade a partir da década de 1970, na Europa e depois nos Estados Unidos. No Brasil, essa energia:

- a) apresenta um forte potencial no litoral nordestino.
- b) é largamente concentrada na Amazônia.
- c) representa cerca de 10% da matriz energética.
- d) tem maior produção concentrada no Sudeste.
- e) concorre diretamente com fontes tradicionais como o carvão.

3. (Enem/MEC)

O potencial brasileiro para gerar energia a partir da biomassa não se limita a uma ampliação do Pró-álcool. O país pode substituir o óleo diesel de petróleo por grande variedade de óleos vegetais e explorar a alta produtividade das florestas tropicais plantadas. Além da produção de celulose, a utilização da biomassa permite a geração de energia elétrica por meio de termelétricas a lenha, carvão vegetal ou gás de madeira, com elevado rendimento e baixo custo. Cerca de 30% do território brasileiro é constituído por terras impróprias para a agricultura, mas aptas à exploração florestal. A utilização de metade dessa

área, ou seja, de 120 milhões de hectares, para a formação de florestas energéticas, permitiria produção sustentada do equivalente a cerca de 5 bilhões de barris de petróleo por ano, mais que o dobro do que produz a Arábia Saudita atualmente.

José Walter Bautista Vidal. *Desafios Internacionais para o século XXI*. Seminário da Comissão de Relações Exteriores e de Defesa Nacional da Câmara dos Deputados, ago. 2002 (com adaptações).

Para o Brasil, as vantagens da produção de energia a partir da biomassa incluem

- a) implantação de florestas energéticas em todas as regiões brasileiras com igual custo ambiental e econômico.
 - b) substituição integral, por biodiesel, de todos os combustíveis fósseis derivados do petróleo.
 - c) formação de florestas energéticas em terras impróprias para a agricultura.
 - d) importação de biodiesel de países tropicais, em que a produtividade das florestas seja mais alta.
 - e) regeneração das florestas nativas em biomas modificados pelo homem, como o Cerrado e a Mata Atlântica.
4. (UCS-RS) A dependência da sociedade moderna em relação aos combustíveis fósseis tem seus dias contados, derivando daí a constante busca por fontes alternativas de energia. Assinale a alternativa, no quadro abaixo, que apresenta corretamente a fonte de energia e algumas de suas respectivas características.

Fonte de energia	Características
a) Solar	Originária nos gêiseres, não gera resíduos e não emite gases tóxicos
b) Geotérmica	Energia limpa não renovável, é usada para substituir a energia nuclear
c) Eólica	Não renovável, disponível em regiões de altitude, não polui o ar
d) Dos oceanos	Renovável, utiliza o fluxo das marés, ondas e correntes marinhas
e) Da biomassa	Não renovável, substitui a energia termoeletrica e não causa combustão

Biosfera e ação humana

Hidrosfera

Landsat Image Gallery/Nasa Images



Imagem de satélite mostra a chegada da lama do Rio Doce ao oceano Atlântico, no litoral do Espírito Santo, em 5 nov. 2015.

Catástrofes ocasionais, tragédias cotidianas

Na tarde de 5 de novembro de 2015, em Mariana (MG), rompeu-se uma barragem de contenção de rejeitos de mineração, e um volume de lama superior a 60 milhões de metros cúbicos alcançou o córrego Santarém. Cortado por ele, o distrito de Bento Rodrigues foi devastado pela enxurrada. Outras localidades foram afetadas, no que foi considerado o maior desastre ambiental do Brasil até então. Tendo provocado mais de 15 mortes, a onda de lama e minérios atingiu o Rio Doce, um dos principais rios da região Sudeste, comprometendo os ecossistemas aquático e ribeirinho.

A água turva impediu a entrada de luz e reduziu a quase zero a concentração de gás oxigênio, comprometendo a vida de algas e plantas aquáticas, moluscos, crustáceos, peixes e outros animais. A comunidade biológica desse vasto ambiente fluvial foi praticamente eliminada em poucos dias. A coleta e o abastecimento de água de grandes cidades (como Baixo Guandu, Colatina e Linhares) foram interrompidos. Inviabilizou-se a irrigação de lavouras. Toneladas de peixes morreram e a pesca na região foi descontinuada. Componentes endêmicos da flora e da fauna podem estar irremediavelmente extintos. É o caso do surubim-do-doce (peixe da espécie *Steindachneridion doceana*).

No dia 22 de novembro, a corrente de rejeitos alcançou o oceano Atlântico, na praia de Regência, em Linhares (ES), em uma região biologicamente relevante pela riqueza da ictiofauna e por ser área de desova de tartarugas marinhas.

Não há estimativa definitiva, mas especialistas afirmam que serão necessários mais de 100 anos para que as consequências da catástrofe se dissipem por completo.

Rios carregam sedimentos e poluentes para os oceanos. Cidades costeiras contribuem para a poluição dos mares, lançando, nas águas, esgoto e outros resíduos urbanos. Cerca de 35% de todo o esgoto domiciliar alcança os oceanos sem nenhum tipo de tratamento, ocasionando contaminação das águas e das praias com bactérias fecais. A presença de material orgânico em grande quantidade, resultante do despejo de resíduos *in natura*, acarreta aumento excessivo da população de certas algas, o qual pode provocar marés vermelhas.

Os oceanos também são contaminados por substâncias químicas, como o DDT e o mercúrio, resultantes da atividade agrícola ou industrial. Objetos de plástico (como garrafas, copos, embalagens etc.) são lançados em grandes quantidades nos oceanos, onde permanecem por séculos.

Embora quimicamente inertes, esses objetos podem matar animais aquáticos por sufocação, quando são engolidos ou retidos nas brânquias.

Acredita-se que mais de 50% dos ecossistemas marinhos já estejam de alguma forma afetados pela presença humana. Dos agentes poluidores associados com a atividade antrópica, um dos mais temidos é o petróleo. Em todas as etapas de seu processamento (extração, transporte a destilarias, refino e comercialização dos derivados), há contaminação ambiental, e mais de 90% de todo o despejo de petróleo no ambiente ocorre em operações rotineiras, e não em acidentes.

Menos denso que a água, o petróleo mantém-se à tona, formando películas com dimensão e espessura variáveis, comprometendo os ambientes aquáticos por diversos motivos:

- **Redução da penetração de luz.** A penetração de luz abaixo de uma mancha de petróleo é menor que em águas claras. Essa reduzida disponibilidade de energia luminosa restringe a taxa de fotossíntese do plâncton e da vegetação aquática; consequentemente, a oferta de alimentos para toda a comunidade é diminuída.
- **Redução da quantidade de oxigênio dissolvido.** A mancha de petróleo forma uma barreira entre a água e o ar, dificultando a dissolução do O_2 , reduzindo sua concentração na água e comprometendo os organismos aeróbios.
- **Asfixia.** O petróleo forma películas que cobrem as brânquias de peixes e de outros animais aquáticos, causando-lhes a morte.
- **Danos às aves aquáticas.** As aves têm suas penas encharcadas com petróleo, comprometendo sua capacidade de flutuação e de voo. O papel das penas como isolante térmico também é afetado, e algumas aves morrem por resfriamento.

A grande extensão dos oceanos dilui os poluentes; entretanto, como o despejo de resíduos ocorre ano após ano, a concentração de muitas substâncias está aumentando perigosamente, principalmente nas plataformas continentais, onde se concentra boa parte da vida marinha.

Os oceanos não são fontes inesgotáveis de recursos, e a pesca excessiva vem reduzindo significativamente populações de moluscos, crustáceos e peixes capturados comercialmente. Além disso, passou a hora de deixar de percebê-los como o desaguadouro natural dos rejeitos da civilização. Os oceanos têm limites, e eles estão sendo rapidamente alcançados.

Proponha aos alunos que pesquisem sobre o destino do esgoto da região onde moram. Peça que verifiquem se há algum tipo de tratamento antes do seu lançamento no oceano ou em rios. Discuta o impacto dessa destinação para a população.

Terra, o mundo das águas

A vida, pelo menos como a conhecemos na Terra, não pode existir sem água. Em geral, a biodiversidade de um ambiente é diretamente proporcional à disponibilidade desse recurso (**figura 1**). Sem a circulação da água, nutrientes (como o cálcio e o fósforo) não seriam transportados e a vida não se manteria.

Algumas previsões estimam que, em poucas décadas, mais da metade da população mundial poderá enfrentar escassez de água, cujos impactos tendem a ser cada vez mais graves tanto pela degradação ambiental quanto pelos riscos à saúde e à sobrevivência humana.

O mau uso, o desperdício e a contaminação da água por sedimentos, esgotos e resíduos (como fertilizantes e defensivos agrícolas) causam desequilíbrios nos ambientes aquáticos. Antes do **tratamento**, devem ser buscadas alternativas para a **preservação** da água.



Ben Curtis/AP/Glow Images



Marcos Amend/Pulsar

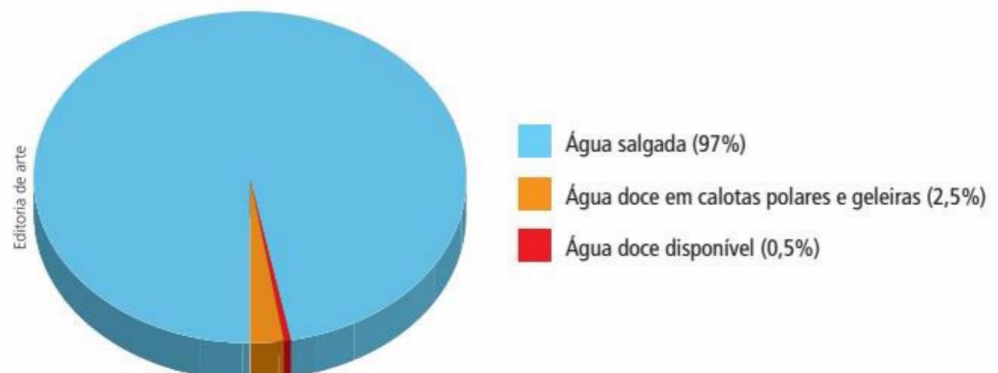
Figura 1. Quantidade de água e riqueza de vida são interdependentes. (a) Chade, na África, 2012. (b) Parque Nacional de Anavilhanas, no estado do Amazonas, 2013.

Da quantidade total da água que constitui a hidrosfera, cerca de 97% encontram-se nos mares e oceanos. Trata-se de água salgada, imprópria para o consumo humano. Os restantes 3% são de água doce, mas cerca de 2,5% estão congelados nas calotas polares (principalmente sobre a Antártida) e em geleiras. Portanto, apenas 0,5% do total hídrico do planeta é de água doce, disponível em lagos, rios e depósitos subterrâneos (**figura 2**).

A água do subsolo e as camadas de material poroso por onde ela circula formam os **aquíferos**. Um dos maiores do mundo e o mais estudado, o aquífero de Ogallala, estende-se por oito estados norte-americanos e ocupa uma área de 500 000 km².

No Brasil, dois enormes aquíferos merecem destaque: Alter do Chão e Guarani.

O maior aquífero em território brasileiro é o de Alter do Chão, na região Norte, com área de aproximadamente 440 000 km² (nos estados do Amazonas, Pará e Amapá) e volume estimado em mais de 85 trilhões de metros cúbicos de água. Essa reserva hídrica é explorada para consumo urbano, respondendo por quase a metade da água servida às populações das cidades de Manaus (AM) e Santarém (PA). Representam risco de contaminação da água desse aquífero a perfuração de poços sem os necessários cuidados e a persistência de poços abandonados, além da infiltração de efluentes residenciais e industriais, de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas oriundos da crescente exploração da agricultura na região.



Fonte dos dados: BRASIL. Agência Nacional das águas. **No rumo da mudança.** Fatos e tendências. Brasília, 2009.

Figura 2. Se 100 L equivalessem à quantidade total de água da Terra, a água doce corresponderia a 3 L e, destes, somente uma pequena colher de chá estaria disponível para o consumo humano.

O aquífero Guarani, por sua vez, estende-se por oito estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Abastecido pelas bacias do rio Paraná e do Chaco-Paraná, o Guarani ultrapassa as fronteiras brasileiras e espalha-se também pela Argentina, pelo Uruguai e pelo Paraguai (**figura 3**). Sua área total é calculada em 1 200 000 km², e o volume hídrico estimado é de 50 trilhões de m³. Embora ocupe parte do território de oito estados brasileiros, suas áreas de afloramento encontram-se concentradas nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. O aquífero Guarani tem sido exaustivamente explorado, não apenas para atender ao consumo urbano, mas para fornecimento de água para a irrigação de lavouras. Estudos nas últimas décadas têm mostrado que esse aquífero, na verdade, é um mosaico heterogêneo de múltiplas reservas hídricas subterrâneas, diversas entre si quanto à acessibilidade, ao tipo de rocha em que estão dispersas, ao risco de contaminação e mesmo quanto à potabilidade.

▶ Caminhos da água

Ecossistemas terrestres — incluindo as populações humanas — são dependentes da água doce disponível, que, além de escassa, vem sendo comprometida pela ação antrópica (despejo de esgoto domiciliar e resíduos industriais, contaminação com defensivos agrícolas ou mercúrio etc.).

Combater a poluição das águas e evitar seu desperdício é responsabilidade de todos. Para isso, é importante conhecer os caminhos percorridos pela água na biosfera.

Do vapor de água oriundo de áreas continentais, mais de 90% origina-se da transpiração das plantas; o restante evapora-se diretamente do solo. A soma da evaporação e da transpiração constitui a **evapotranspiração** (**figura 4**).



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA). Programa Estratégico de Ação (PEA) do Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG).

Figura 3. Apesar de identificado desde a década de 1950, o aquífero Guarani não tem seus limites definidos com precisão.

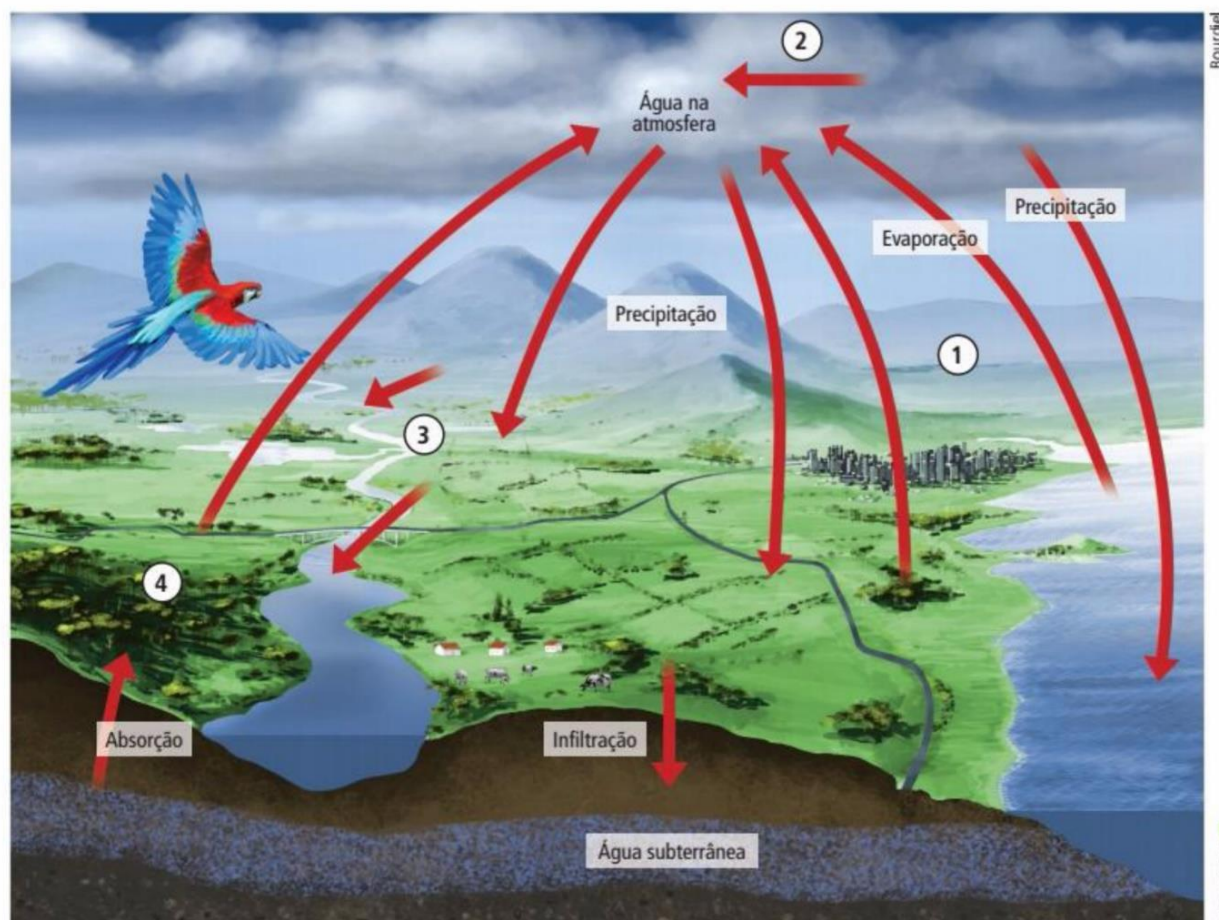


Figura 4. Representação esquemática do ciclo da água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- 1 Aquecida pela energia solar, a água (principalmente a dos mares) converte-se em **vapor**, que sobe para a **atmosfera**.
- 2 Atingindo camadas com temperatura suficientemente baixa, o vapor se **condensa**, formam-se **nuvens** e ocorrem **precipitações**, a maior parte delas sobre os próprios oceanos. Uma parcela do vapor de água desloca-se para as áreas continentais.
- 3 Da água que se precipita sobre o solo, pouco menos da metade corre sobre a **superfície** ou se infiltra em **aquíferos**, terminando por retornar aos oceanos.
- 4 Grande parcela da água é retirada pelas raízes das plantas e, posteriormente, lançada no ar, na **transpiração**.

Das substâncias que percorrem os chamados ciclos biogeoquímicos (como o carbono, a água, o nitrogênio e o enxofre), a água é a única que percorre todo o trajeto sempre como a mesma substância (H₂O).

O **desflorestamento** pode interferir no ciclo da água, provocando diminuição da quantidade de chuvas. Além disso, como as folhas das copas das árvores refletem aproximadamente 10% da radiação solar que chega à superfície terrestre, a redução dessa reflexão aquece o solo, acelerando ainda mais a evaporação da água e, consequentemente, o ressecamento do solo (**figura 5**).



Andre Dierckx

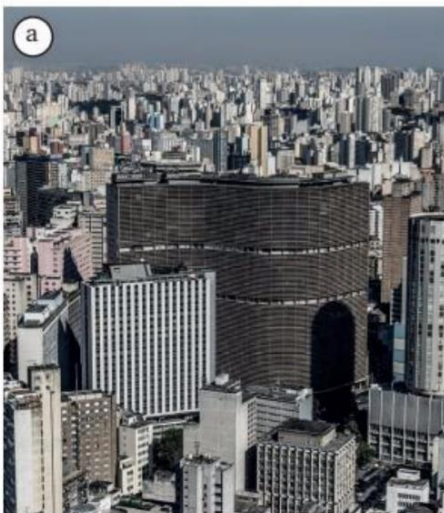
Figura 5. Em muitos biomas, como na Floresta Amazônica, a cobertura vegetal afeta significativamente o clima, a umidade e a quantidade de chuvas. O equilíbrio entre a vegetação e as chuvas é delicado e bastante afetado pelo desflorestamento. Serra do Divisor, no estado do Acre, 2013.

Mesmo nos oceanos, os seres vivos interferem na pluviosidade. Um exemplo são as algas marinhas, que liberam **dimetilsulfeto** (DMS), um resíduo cujas partículas, na atmosfera, agregam moléculas de água ao redor de si, formando gotículas que se precipitam como chuva.

Muitos problemas ambientais decorrentes das atividades humanas estão relacionados com impactos diretos ou indiretos no ciclo da água (**figura 6**).

- **Alterações da superfície do solo.** A ocupação de ambientes naturais por edificações em geral impermeabiliza o solo, acarretando menor penetração de água no subsolo, além de aumentar a velocidade das enxurradas, que provocam erosão e empobrecimento do solo, arrastando sedimentos para rios e lagos. A prevenção desse problema consiste em estabelecer e manter, nas cidades, áreas verdes com o solo não impermeabilizado.
- **Poluição.** A água atravessa toda a biosfera e, em praticamente todas as etapas do seu ciclo, pode ser afetada por compostos lançados no ambiente pelos seres humanos, como resíduos naturais (fezes e urina) e industriais, petróleo, mercúrio, inseticidas, fertilizantes etc.
- **Esgotamento dos estoques hídricos.** O abastecimento de água para as populações humanas representa grande risco de exaustão dos mananciais e dos depósitos de água no subsolo, como ocorre em algumas regiões do Brasil. Em Guaiúba (SP), por exemplo, o aquífero vem sofrendo declínio acentuado, em virtude da elevada utilização de água na irrigação agrícola.

Figura 6. (a) Extensas áreas urbanas impermeabilizadas, como a Região Metropolitana de São Paulo (SP), 2013, favorecem a ocorrência de inundações e enchentes. (b) Língua negra (despejo de esgoto domiciliar) deságua no oceano Atlântico, em praia no Cabo de Santo Agostinho (PE), 2013. (c) Plantação de soja irrigada na zona rural de São Gonçalo do Abaeté (MG), 2014.



Paulo Fridman/Pulsar



Hans Von Manteuffel/Opção Brasil



Rubens Chaves/Pulsar

A vida nas águas

Os organismos aquáticos dividem-se em três estratos (**figura 7**):

- **Nécton**. Abrange os animais nadadores que se deslocam ativamente pela água, como peixes, tartarugas, golfinhos e baleias.
- **Plâncton**. Formado pelos organismos da coluna d'água, arrastados por correntes, ventos e ondas. Compreende o **fitoplâncton**, constituído por seres autotróficos, como cianobactérias e diversos tipos de algas, representando a base das cadeias alimentares; e o **zooplâncton**, formado por organismos heterotróficos, como protozoários, larvas de vários animais e pequenos crustáceos adultos.
- **Bento**. Compreende os habitantes assentados nos fundos. Alguns são fixos, como poríferos, corais, anêmonas e certas algas; outros vivem em buracos na areia ou na lama, como determinados moluscos. Há ainda os que caminham sobre o fundo, como lagostas, estrelas-do-mar e polvos.

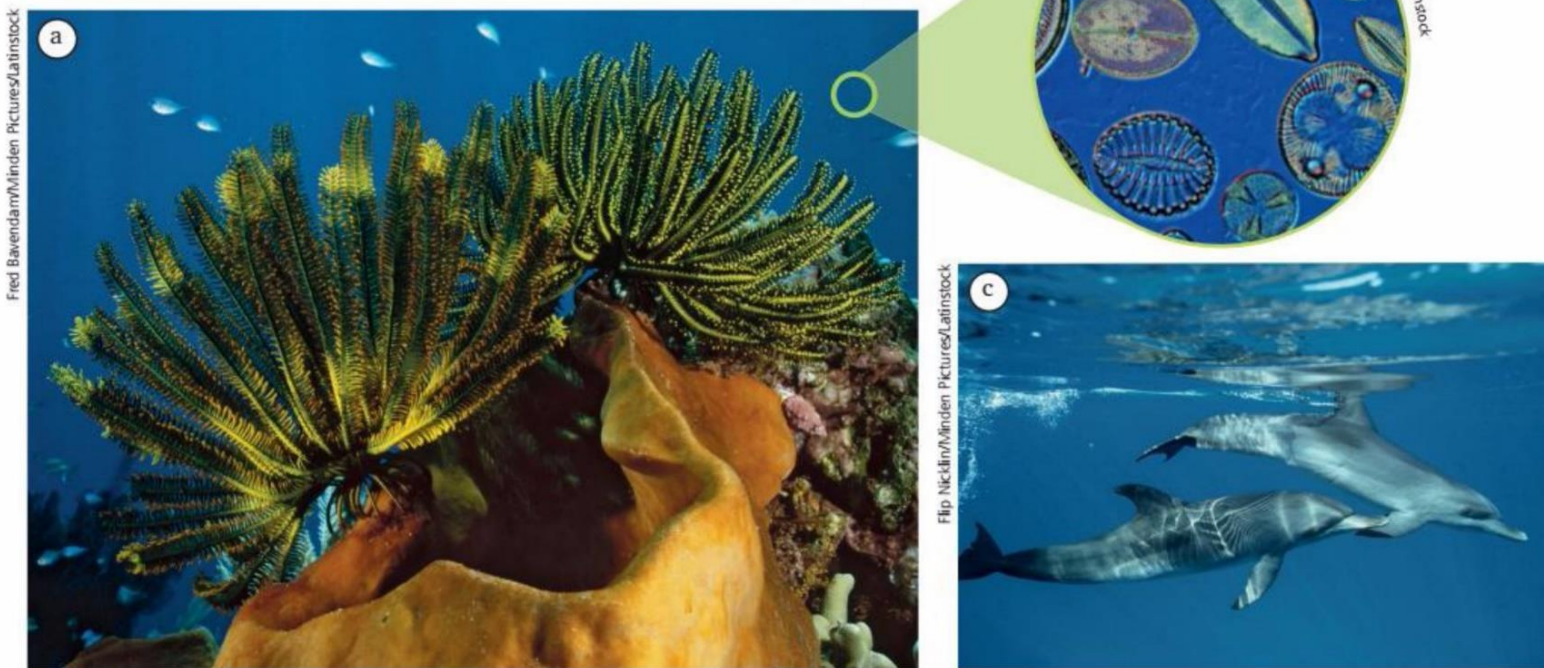


Figura 7. (a) Poríferos e lírios-do-mar são componentes do bento. (b) Micrografia de componentes do fitoplâncton (imagem de microscopia óptica, aumento aproximado de 150 vezes). (c) Os integrantes do nécton, como os golfinhos, caracterizam-se pelo deslocamento ativo pela água.

► Ecossistemas de água doce

Os ecossistemas de água doce moderam as oscilações de temperatura nas terras vizinhas e lançam nutrientes nos mares. Compreendem águas correntes (ou lótic, como riachos e rios, **figura 8a**) e águas paradas (ou lênticas, como lagoas e lagos, **figura 8b**).

Os **rios** apresentam grandes variações da nascente à foz. No curso inicial, as águas são mais velozes e turbulentas, o leito é pouco profundo e a temperatura é baixa. Por causa da turbulência, a água é ricamente oxigenada.

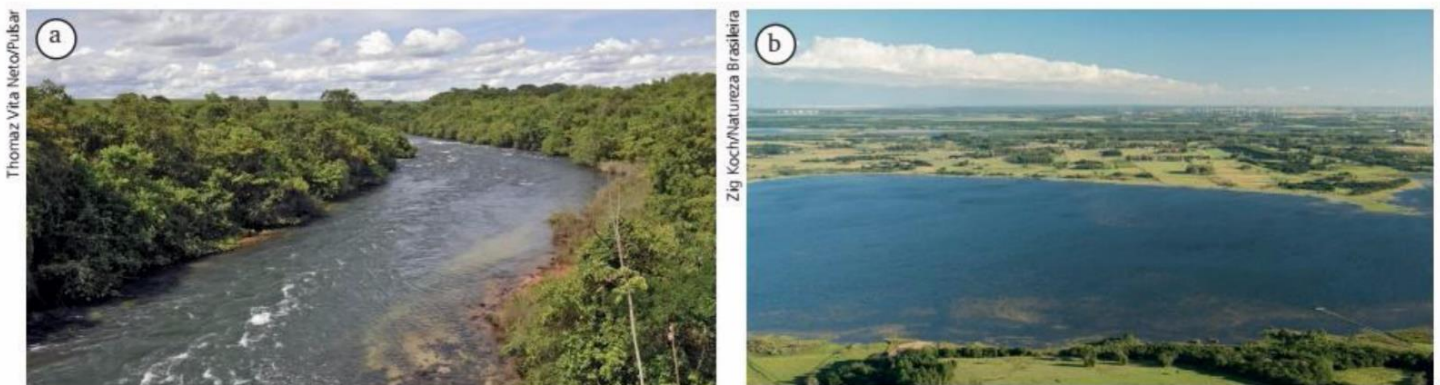


Figura 8. (a) Águas lótic (Rio Corrente, Serranópolis, GO, 2014) e (b) águas lênticas (Lago dos Barros, Osório, RS, 2014).

Frequentemente, rios são represados para atender às necessidades humanas, como a obtenção de água para o consumo, a geração de eletricidade, a irrigação de plantações e o lazer. Entretanto, o represamento provoca diversos impactos ambientais (figura 9).



Figura 9. Efeitos do represamento da água de um rio. Em laranja, possíveis vantagens de uma barragem; em amarelo, possíveis desvantagens.

Análises e informações sobre o represamento de rios brasileiros podem ser obtidas no portal do Instituto Socioambiental (disponível em <<http://tub.im/q56whz>>) e nos artigos **Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira** (disponível em <<http://tub.im/26swuk>>) e **Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios** (disponível em <<http://tub.im/bdn783>>) (acessos em: maio 2016).

▶ Estuários e manguezais

Os **estuários**, regiões onde os rios desembocam nos mares, são **ecossistemas de transição** nos quais ocorre grande variação diária de salinidade, em razão das marés.

Geralmente, os estuários apresentam elevada produtividade por causa do fornecimento de nutrientes pelos rios, pelas terras vizinhas e pela movimentação das marés. Por isso, servem como berçário para muitas espécies marinhas, como crustáceos e peixes. Nas margens estuarinas dos rios, podem-se encontrar manguezais.

Os **manguezais** são áreas formadas por solos alagados e instáveis, ricos em matéria orgânica e pouco oxigenados, próximas a regiões costeiras e estuarinas, sob forte influência das águas do mar e dos rios. No Brasil, são encontrados do Amapá até Santa Catarina.

Os manguezais são áreas de reprodução de diversas espécies. Em decorrência das chuvas e das variações das marés, a água invade as regiões ribeirinhas, tornando o solo mole, úmido e rico em matéria orgânica. Algumas plantas desses ambientes têm **caules-escora** (ou rizóforos), que aumentam a sustentação da planta. Além disso, muitas plantas também possuem **pneumatóforos**, raízes que crescem inicialmente em direção ao solo e depois para fora dele, e que têm orifícios responsáveis por trocas gasosas.

Afetados pela ocupação humana, os manguezais sofrem, por exemplo, com a ocupação urbana e o despejo de resíduos domiciliares e industriais, além dos frequentes vazamentos de petróleo de refinarias, tubulações e navios petroleiros.

▶ Ecossistemas marinhos

Os oceanos cobrem aproximadamente três quartos da superfície do planeta. Nos ecossistemas marinhos, a salinidade varia pouco, com discretas alterações decorrentes das chuvas ou da proximidade de estuários. Dependendo da profundidade e da movimentação da água, os fatores que mais variam são a oferta de luz e as concentrações de gás oxigênio e de nutrientes. Os movimentos das águas são determinados principalmente por correntes, ventos e marés.

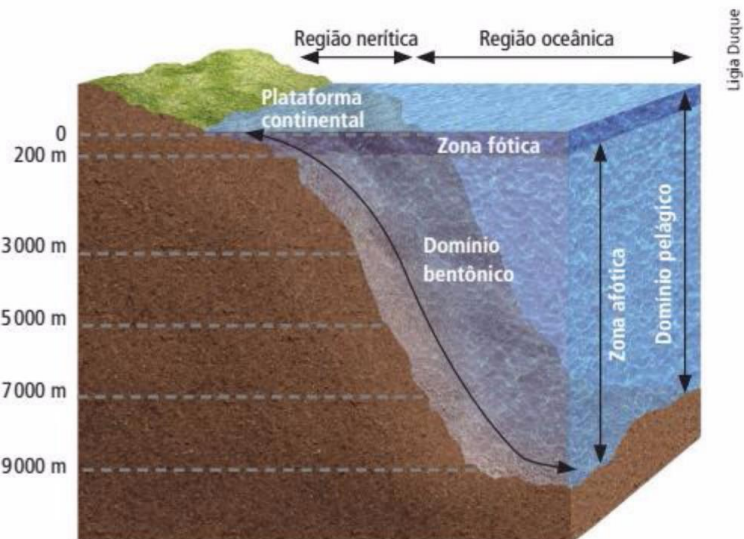
Os ecossistemas marinhos (**figura 10**) dividem-se em dois domínios: **bentônico** (o leito oceânico) e **pelágico** (que compreende as águas e se divide nas regiões nerítica e oceânica).

A **região nerítica** vai da linha costeira até profundidades de 200 metros, cobrindo a plataforma continental, onde há abundância de materiais vindos de terras vizinhas, intensa penetração de luz e atividade fotossintética, grande disponibilidade de nutrientes e muitos animais, como crustáceos, moluscos, peixes, répteis e mamíferos aquáticos. Embora represente 0,5% do volume total dos oceanos, concentra mais de 90% da biomassa marinha.

A **zona intertidal** é a porção da região nerítica correspondente à faixa das marés (**figura 11a**) que permanece submersa na maré alta e emersa na maré baixa. Algumas regiões estão a maior parte do tempo parcialmente encobertas pela água, enquanto outras recebem apenas gotículas trazidas pelo vento ou pela arrebentação das ondas. Esta zona é rica em nutrientes, bem oxigenada e tem insolação intensa, condições que explicam a grande quantidade e diversidade de seres vivos. Seus habitantes (**figura 11b**) toleram amplas variações de insolação, temperatura, umidade e salinidade.

A **região oceânica** corresponde ao mar aberto, onde a penetração de luz e a disponibilidade de nutrientes variam de um local para outro. A luz geralmente não chega a mais de 100 m ou 200 m de profundidade (zona fótica), inviabilizando a fotossíntese em profundidades maiores (zona afótica). A salinidade é relativamente uniforme e não interfere na distribuição e na quantidade dos seres vivos.

Os organismos das regiões profundas (**zonas abissais**) dependem de matéria orgânica das camadas superiores, ingerindo organismos mortos e restos, ou da matéria orgânica produzida por organismos quimiossintetizantes.



Fonte: RAVEN, P. H. et al. **Environment**. New York: John Wiley & Sons, 2012.

Figura 10. Representação esquemática de divisões do ecossistema marinho. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



Fabio Colombini



Luciano Candiani/Minden Pictures/Latinstock

Figura 11. (a) Aspecto da zona intertidal (Ipojuca, PE, 2013). (b) Maria-farinha (*Ocypode quadrata*, 5 cm de largura), habitante da faixa das marés.

Em geral, os oceanos tropicais têm águas quentes e pobres em nutrientes, com baixa produtividade primária, sendo por isso territórios pobres para a pesca. Em algumas regiões, porém, as populações de peixes e de outros organismos marinhos são numerosas devido à ressurgência, afloramento de águas frias das profundezas oceânicas, que trazem nutrientes (como nitratos e fosfatos). O fenômeno da ressurgência é habitual, por exemplo, na região de Cabo Frio, no litoral do estado do Rio de Janeiro. Com maior disponibilidade de nutrientes minerais, associada à abundante radiação solar, há intenso desenvolvimento do fitoplâncton e, conseqüentemente, dos demais componentes das cadeias alimentares (inclusive de peixes). A ressurgência explica a elevada produtividade pesqueira das costas do Peru e do Equador. Entretanto, a ocorrência do fenômeno *El Niño*, que traz o aquecimento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico, faz cair o rendimento da indústria da pesca nesses países.

Usos da água: reflexos de civilização e desperdício

Centenas de milhões de pessoas em todo o mundo não dispõem de fontes seguras de água para beber, cozinhar ou cuidados pessoais; enquanto isso, outras ainda se permitem um consumo que beira a irresponsabilidade (**figura 12**). Em muitas regiões, as pessoas precisam se deslocar por longas distâncias em busca de quantidade irrisória de água, nem sempre de boa qualidade. Essa atividade é geralmente executada por mulheres e crianças, com grande gasto de tempo, dificultando o acesso à escola e agravando a pobreza. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 80% de todas as doenças humanas decorrem da falta de acesso à água adequada para o consumo humano.

Delfim Martins/Pulsar



Justin Sullivan/Getty Images

Figura 12. (a) Em pleno século XXI, a água de boa qualidade ainda é um recurso inacessível para muitas pessoas. Metade da população mundial não dispõe de rede satisfatória de abastecimento de água e, em cada dez habitantes, um está privado de água apropriada para o consumo. (b) Uma prática a ser evitada! O retrato do desperdício mostra que mudanças de hábitos são a maneira mais prática de reduzir o consumo domiciliar de água.

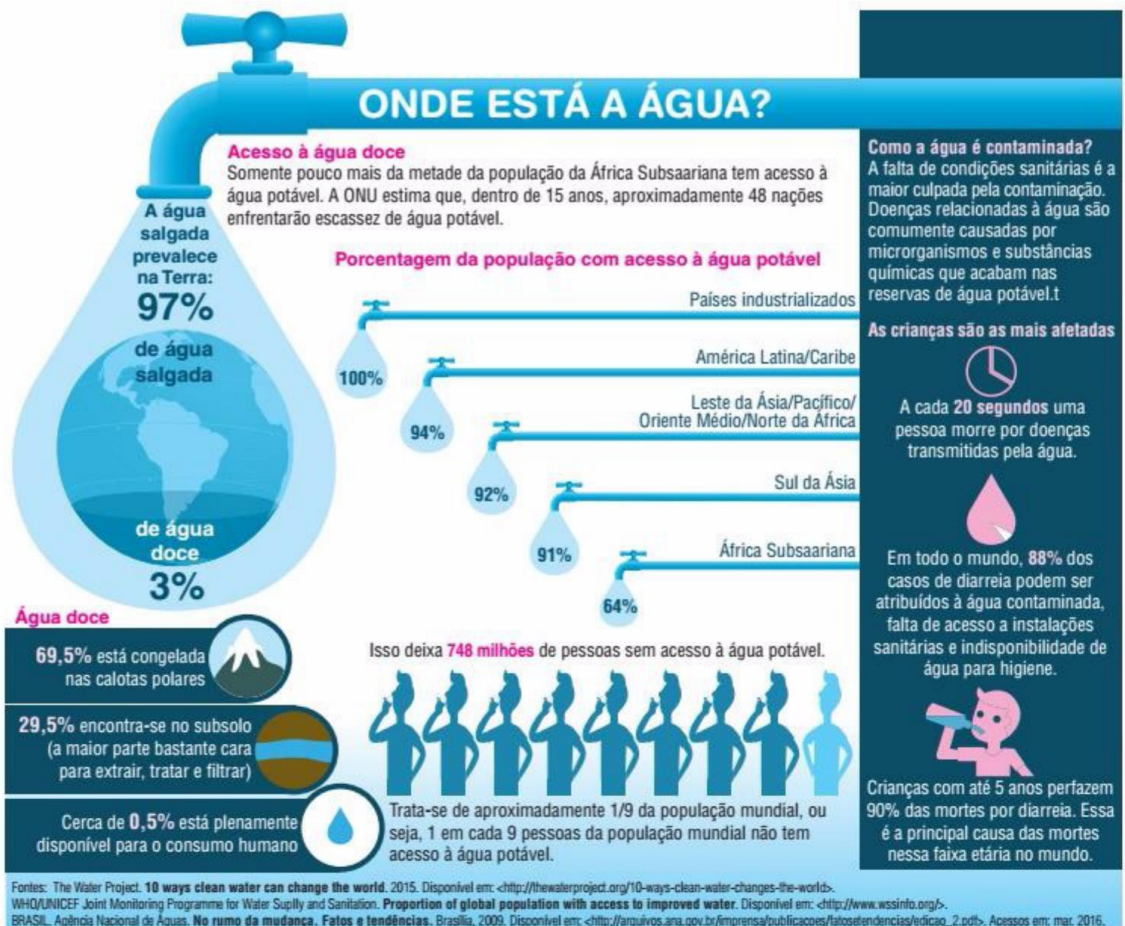


Figura 13. O infográfico **Onde está a água?** mostra, de forma simplificada, o acesso à água em todo o mundo.

No Brasil, uma família de classe média, com quatro pessoas, consome em casa cerca de 1 500 L de água por dia, sendo este consumo inferior ao de outros países da América do Sul e do mundo. Estima-se que a distribuição do consumo médio diário de água, por pessoa, seja aproximadamente a seguinte: 36% na descarga do banheiro; 31% em higiene corporal; 14% na lavagem de roupa; 8% na rega de jardins, lavagem de automóveis, limpeza de casa e outras atividades; 7% na lavagem de utensílios de cozinha; e 4% para beber e cozinhar.

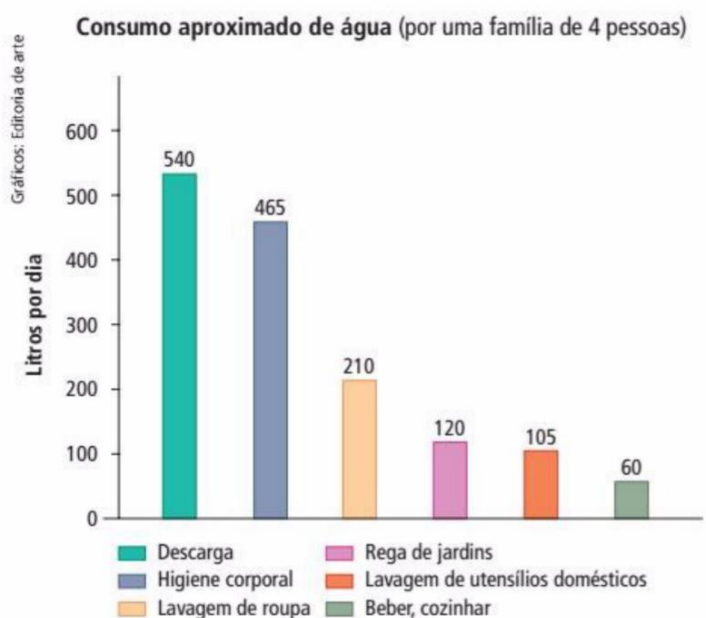


Figura 14. Consumo domiciliar diário de água por atividade.

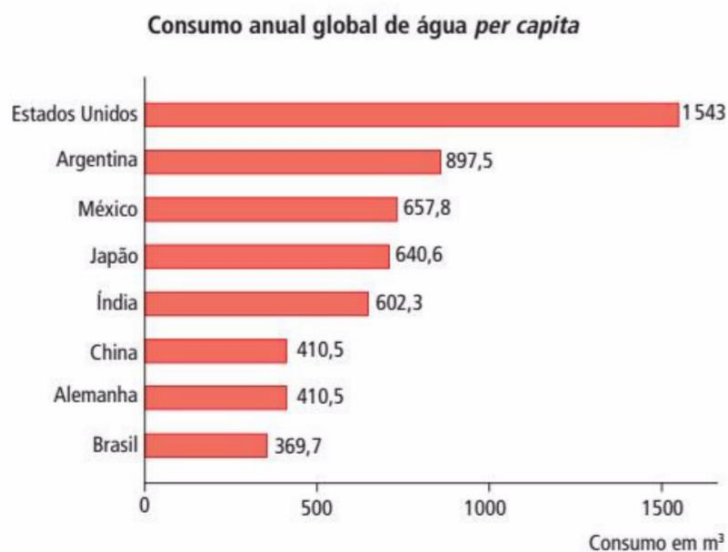


Figura 15. Consumo anual de água em diversos países, em 2010.

No Brasil, a porcentagem de domicílios conectados à rede de abastecimento de água é muito diferente conforme a população analisada. Segundo o IBGE (dados de 2014), somente 33,4% dos domicílios da zona rural eram servidos pela rede pública de água, ao passo que na zona urbana esse número chegava a 93,9%, com nítidas diferenças entre as regiões (**tabela 1**).

Tabela 1. Porcentagem de domicílios brasileiros conectados à rede pública de água por região

Região	Conectados
Total do país	85,4%
Norte	60,3%
Nordeste	79,9%
Sudeste	92,1%
Sul	87,9%
Centro-Oeste	85,2%

Fonte: IBGE. (PNAD, 2014).

Leia mais sobre o assunto "Água no Brasil" no link disponível em: <<http://tub.im/vi28gn>>; acesso em: mar. 2016.

A extensão insuficiente da rede de esgoto contribui para a contaminação dos mananciais em áreas urbanizadas. Nas grandes cidades, como São Paulo, as áreas de mananciais e as bordas de represas que abastecem a população estão sendo ocupadas pela mancha urbana, e as fontes de água disponíveis para o consumo humano começam a escassear. Mudanças de hábitos são necessárias para reduzir o consumo domiciliar de água (**tabela 2**).

Tabela 2. Guia para economizar água em casa

Atividade	Consumo em uso normal	Consumo em uso econômico
Banho de chuveiro	Banho regular com chuveiro aberto por 15 min: 92 L	Molhar, ensaboar e enxaguar: 12 L
Lavar as mãos	Com torneira aberta: 7 L	Molhar, ensaboar e enxaguar: 3,5 L
Escovar os dentes	Com torneira aberta: 37 L	Molhar a escova, escovar, bochechar: 1,5 L
Barbear-se	Com torneira aberta: 74 L	Molhar, ensaboar e enxaguar: 3,5 L
Banho de banheira	Banheira cheia: até 150 L	Não usar banheira
Vazamentos	De 80 L a 800 L por dia	Consertar rapidamente

Fonte: San Francisco Convention and Visitors Bureau. In: Manual global de ecologia. São Paulo: Augustus, 1996.

Tabela 3. Consumo de água para a produção de 1 kg de alimento

Produto	Volume de água
Batata	500 L
Trigo	900 L
Alfafa	900 L
Sorgo	1 100 L
Milho	1 400 L
Arroz	1 900 L
Soja	2 000 L

Fonte: PIMENTEL, D. Water Resources: Agriculture, Environment and Society. BioSciences, v. 47, n. 2, 1997.

► Produção de alimentos e consumo de água

Economizar água está se tornando tão importante para a sobrevivência humana quanto economizar energia. Por outro lado, cada vez mais os rios se transformam em fontes de irrigação das plantações. Com essa constatação, um grupo de pesquisadores norte-americanos realizou um estudo para avaliar a quantidade de água necessária à produção de vários alimentos (**tabela 3**).

Segundo os cálculos desse trabalho, são necessários, por exemplo, cerca de 2 000 litros de água para cultivar 1 kg de soja e 500 litros para produzir 1 kg de batata. Outro exemplo destacado pelo trabalho é a quantidade de água necessária para criar um boi: 400 mil litros, considerando-se o que ele bebe, que não é muito, mais a produção dos seus alimentos (pastagens e rações).

Agentes de desequilíbrio

► Fertilizantes inorgânicos e produtos sintéticos

Largamente empregados na agricultura, os fertilizantes inorgânicos (**figura 16**) são dissolvidos e arrastados pela água das chuvas ou da irrigação, que é levada para o subsolo ou drenada para rios e lagos.

Defensivos agrícolas, produtos farmacêuticos, aditivos para alimentos, solventes e outros produtos sintéticos não são degradados pelas enzimas dos seres vivos e, por isso, persistem no ambiente por longos períodos. Atualmente, lagoas e rios do Pantanal Mato-Grossense apresentam concentrações elevadas de defensivos agrícolas (pesticidas), pela ocupação por grandes plantações, principalmente de soja e de cereais, das margens de seus rios.

Além de surfactantes, interpondo-se entre as moléculas de água e reduzindo a tensão superficial, os detergentes contêm fosfatos, cuja liberação na água estimula a proliferação de algas. De todo o fosfato liberado pela atividade humana no ambiente, de 50% a 70% provém dos detergentes.

Os plásticos, por sua vez, converteram-se em símbolo do consumismo. Como sua decomposição natural é muito lenta, os efeitos ambientais podem durar séculos. Animais aquáticos, como as tartarugas marinhas, podem sufocar com pedaços de sacos plásticos, confundidos com componentes de sua dieta; focas e leões-marinhos são estrangulados por anéis de plástico em que, inadvertidamente, enfiam a cabeça.



Fagner Almeida/Opção Brasil

Figura 16. Assim como determinam o rápido crescimento das plantações, os fertilizantes ocasionam os mesmos efeitos em algas e plantas aquáticas.

► Sedimentos

Sedimentos são materiais que, por serem insolúveis (ou pouco solúveis) e mais densos que a água, se depositam no leito de rios, lagos e oceanos. Sua principal fonte é a erosão das terras vizinhas.

A sedimentação pode obstruir total ou parcialmente o leito dos rios, fenômeno chamado **assoreamento** (figura 17). Em geral, o assoreamento aumenta quando uma região começa a ser ocupada por agricultura, pecuária ou mineração a céu aberto.

As principais consequências do acúmulo de sedimentos na água são:

- **Redução da penetração de luz.** O material em suspensão dificulta a entrada de luz, reduzindo a fotossíntese e comprometendo a teia alimentar.
- **Morte de animais aquáticos.** Peixes, moluscos, crustáceos e outros animais que vivem nos cursos de água não resistem à destruição do hábitat.
- **Diminuição da vazão dos cursos de água.** Com a ocupação de parte do leito dos cursos de água por sedimentos, aumenta a probabilidade de ocorrerem inundações nas terras vizinhas.
- **Aumento dos custos de obtenção de água potável.** A turbidez da água dificulta seu tratamento, por mantê-la visualmente desagradável, mesmo se as condições sanitárias forem aceitáveis.



Fotos: Acervo pessoal

► Impactos ambientais dos garimpos

No Brasil, muitos garimpos clandestinos estão envolvidos em ocupação de reservas indígenas, contrabando, sonegação de impostos e degradação ambiental (inclusive pela contaminação de rios com mercúrio). Apesar das tentativas recentes de controlar essa atividade no país, é persistente a presença de mercúrio em rios da região Norte (principalmente no estado de Rondônia) e em rios e lagos do Pantanal Mato-Grossense.

Nos garimpos, o mercúrio é empregado para a separação do ouro: a areia que contém ouro é misturada com água e despejada em uma rampa coberta com tiras de carpete. As partículas de ouro prendem-se às fibras do carpete, com pequena quantidade de areia. O material aderido é misturado com mercúrio, com o qual o ouro reage quimicamente. Surge um amálgama, na forma de grumos, que podem ser facilmente separados da areia. A seguir, esse amálgama é aquecido com maçarico. O calor vaporiza o mercúrio, restando apenas o ouro.

Como em geral não se toma cuidado com os despejos de mercúrio, esse metal acaba dissolvendo-se nas águas de rios e de lagos da região e origina compostos que ingressam na cadeia alimentar. Peixes, moluscos e crustáceos incorporam e acumulam o mercúrio, que pode afetar os organismos que deles se alimentam (jacarés, piranhas, aves aquáticas, seres humanos etc.), atingindo maior concentração naqueles que ocupam o topo da cadeia.

O mercúrio, que tem alta toxicidade, acumula-se no organismo. Uma de suas consequências para as pessoas são lesões no sistema nervoso: fetos contaminados por mercúrio podem desenvolver lesões irreversíveis no encéfalo.

Figura 17. (a) O córrego Saltinho, Piquetópolis (SP), 2008, mostra o resultado da falta de obediência à legislação ambiental. A completa remoção da vegetação ciliar abre caminho para a erosão, a deposição de sedimentos e o assoreamento. Observe a altura do barranco e a presença de sedimentos no leito do córrego. Ao longo de décadas, toneladas de solo foram arrastadas do Saltinho para (b) o Rio Santo Anastácio, em Marabá Paulista (SP), 2008, e, deste, para o Rio Paraná.

► O mercúrio sofre **magnificação trófica**, e sua concentração aumenta ao longo de uma cadeia alimentar, desde os produtores até os consumidores do topo da cadeia.



Figura 18. Localizada às margens do Rio Negro, a usina termelétrica de Aparecida, em Manaus (AM), responde por 20% da eletricidade consumida em Manaus e é movida a gás natural e óleo combustível. (Fotografia tirada em 2011.)

Divulgação/Eletronbras Amazonas Energia

► Poluição térmica

A poluição térmica decorre do uso da água em sistemas de arrefecimento (ou resfriamento) em indústrias e usinas termelétricas (**figura 18**) movidas a carvão, óleo combustível, gás natural ou energia nuclear. Depois de passar pelo sistema de arrefecimento, a água é devolvida a seu meio original (rios, lagos ou oceanos) com temperatura superior àquela com que entrou no sistema. O aquecimento da água diminui a quantidade de O_2 dissolvido e afeta os organismos aeróbios.

► Eutrofização

Na água, vivem **bactérias aeróbias**, que, além de oxigênio (O_2), consomem compostos orgânicos. Se a água contiver grande quantidade de compostos orgânicos dissolvidos, ocorrerá proliferação excessiva desses microrganismos aeróbios, que provocarão queda da concentração de O_2 . Como a reposição desse gás é lenta, outros seres vivos aeróbios (peixes e moluscos, por exemplo) poderão morrer.

Para quantificar a presença na água de resíduos cuja decomposição consome O_2 , determina-se a **demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**: mede-se a concentração de O_2 na amostra de água a ser testada, que depois é mantida durante cinco dias à temperatura de $20^\circ C$. Outra medida da concentração do O_2 dissolvido é realizada no fim do período, e a diferença entre elas, expressa em partes por milhão (ou ppm), indica quanto O_2 foi consumido.

A presença de contaminantes orgânicos pode decorrer da ação humana: esgoto domiciliar, dejetos de indústrias de papel e celulose, criadouros de animais, curtumes, indústrias de laticínios e outras que manipulam produtos de origem animal.

A urbanização desordenada faz com que as margens de represas, rios e córregos sejam ocupadas por bairros sem infraestrutura (principalmente redes de água e de esgoto). Com isso, aumenta a quantidade de **resíduos orgânicos** lançados às águas, os quais entram em decomposição por ação de bactérias e fungos, podendo acarretar a **eutrofização** (ou eutroficação) das águas.

A decomposição resulta em compostos inorgânicos que podem ser utilizados por algas, que proliferam a ponto de tornar a água turva, dificultando a penetração da luz. Sem receber energia luminosa, algas e plantas aquáticas não fazem fotossíntese e acabam morrendo.

A decomposição da biomassa por **microrganismos aeróbios** consome o O_2 dissolvido na água, provocando a morte de animais aquáticos, principalmente de peixes.

Com a redução acentuada da concentração de O_2 na água e o acúmulo de matéria orgânica morta (algas, plantas e animais), a decomposição passa a ocorrer por ação de **bactérias anaeróbias**, que geram, como resíduos, compostos com odor forte (por exemplo, ácido sulfídrico). A água torna-se imprópria para a sobrevivência de seres vivos e impréstável para o consumo humano.

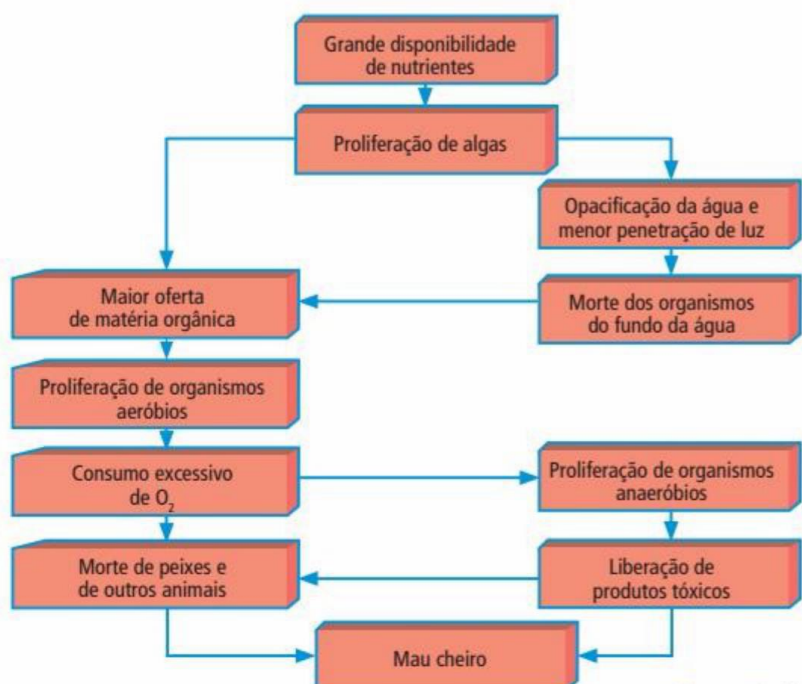


Figura 19. Etapas da eutrofização.

► A eutrofização representa uma **sucessão ecológica**, em que comunidades diferentes vão ocupando sucessivamente o mesmo espaço, modificando as condições ambientais e criando situações favoráveis apenas a determinados tipos de seres vivos. O mesmo problema verifica-se quando uma área de floresta é encoberta por água, por exemplo, no lago artificial de uma hidrelétrica. As plantas submersas entram em decomposição, provocando eutrofização, com liberação de metano e outros gases.

▶ Águas e doenças

Muitas doenças (**tabela 4**) são transmitidas pela água, que pode ser contaminada por vírus, bactérias, cistos, ovos e larvas, geralmente provenientes de fezes de pessoas infectadas.

Um dos testes comumente empregados para constatar a presença de agentes patogênicos na água é a detecção de **coliformes fecais**. As bactérias da espécie *Escherichia coli* geralmente são as pesquisadas uma vez que são encontradas no ambiente em decorrência da contaminação por fezes humanas ou de outros animais, nas quais as bactérias existem em grande quantidade. A maioria dos tipos de *E. coli* não causa doenças; todavia, sua presença na água indica contaminação por fezes e, portanto, a possível existência de microrganismos patogênicos.

▶ A contaminação das águas pode ocorrer não pela presença de organismos patogênicos, mas pela presença de seus resíduos. Um exemplo aconteceu em 1996, na cidade de Caruaru (Pernambuco). Uma substância tóxica, liberada por cianobactérias no reservatório da cidade, contaminou a água usada nas máquinas de hemodiálise ("rins artificiais") empregadas pelo Instituto de Doenças Renais (IDR), provocando um tipo grave de hepatite química e a morte de mais de 60 pacientes.

Tabela 4. Doenças que podem ser transmitidas pela água

Doença	Agente infeccioso	Manifestação
Diarreia infecciosa aguda	Vírus (geralmente rotavírus)	Diarreia, febre, vômitos, desidratação, perda de peso
Hepatite infecciosa	Vírus (VHA)	Icterícia, urina escura, fezes muito claras, dor de cabeça, febre, perda de apetite, vômito
Poliomielite	Vírus (poliovírus)	No início, dor de garganta, febre, diarreia, fraqueza muscular; posteriormente, paralisia e atrofia muscular
Cólera	Bactéria (<i>Vibrio cholerae</i>)	Diarreia intensa e aquosa, perda de peso e desidratação, câibras
Disenteria bacilar	Bactérias (<i>Shigella</i> sp. e alguns tipos de <i>Escherichia coli</i>)	Dor abdominal, diarreia sanguinolenta, desidratação, febre, vômito
Enterite	Bactéria (<i>Clostridium perfringens</i>)	Perda de apetite, dor abdominal, diarreia, febre
Febre tifoide	Bactéria (<i>Salmonella typhi</i>)	Dor de cabeça, apatia, febre, vermelhidão na pele, diarreia, hemorragias intestinais
Giardiase	Protozoário (<i>Giardia intestinalis</i>)	Em geral, poucas manifestações; podem ocorrer diarreia, cólicas intestinais, constipação e perda de apetite
Disenteria amebiana	Protozoário (<i>Entamoeba histolytica</i>)	Diarreia sanguinolenta, febre, dor abdominal
Cisticercose	Platelminto (<i>Taenia solium</i>) ¹	Dor de cabeça, tonturas, convulsões, distúrbios visuais
Esquistossomose (barriga-d'água)	Platelminto (<i>Schistosoma mansoni</i>) ²	Febre, fraqueza, anemia, fezes sanguinolentas, aumento do fígado e do baço, ascite (acúmulo de líquido na cavidade abdominal)
Ancilostomíase (amarelão)	Nematódeo (<i>Ancylostoma duodenale</i>) ²	Dor abdominal, anemia, diarreia ou constipação
Ascaridíase	Nematódeo (<i>Ascaris lumbricoides</i>)	Dor abdominal, diarreia ou constipação; podem ocorrer obstrução intestinal e distúrbios respiratórios

¹ A cisticercose pode ser causada também pela ingestão de ovos liberados nas fezes da própria pessoa (autoinfecção).

² A esquistossomose e a ancilostomíase são geralmente causadas pela penetração de larvas através da pele. Estando na água consumida, essas larvas também podem penetrar através da mucosa das vias digestórias.

Tratamento da água e do esgoto

Nas modernas estações de tratamento (**figura 20**), a água passa inicialmente por **de-cantação** em grandes tanques. Para aumentar a eficiência da decantação, realiza-se antes a **floculação**: são adicionadas à água substâncias flocculadoras (como o sulfato de alumínio), que se unem às partículas suspensas na água, formando flocos, que se precipitam mais fácil e rapidamente. A seguir, faz-se a **filtração**: a água (agora sem os resíduos precipitados) é lançada em grandes filtros que contêm cascalhos e areia.

Outra etapa é a **cloração** (desinfecção química), feita habitualmente pela mistura com soluções de hipoclorito de sódio, substância que destrói organismos patogênicos na água. Além disso, apresenta ação residual, ou seja, persiste na água durante seu trajeto pela tubulação urbana e domiciliar, combatendo a contaminação, que pode acontecer por infiltração de material estranho na rede. A última etapa consiste na administração de cal à água, para corrigir eventual acidez.



Delfim Martins/Pulsar

Figura 20. Estação de tratamento de água de Caucaia (CE), 2013.

Tabela 5. Porcentagem de domicílios brasileiros conectados à rede pública de esgoto, por região

Região	Conectados
Total do país	63,5%
Norte	21,2%
Nordeste	41,1%
Sudeste	87,7%
Sul	61,9%
Centro-Oeste	46,5%

Fonte: IBGE (PNAD, 2014).

Em muitas localidades, faz-se a **fluoretação** (ou fluoração) da água, pela adição de sais de flúor, que auxiliam na prevenção de cáries dentárias. As dosagens do flúor devem ser cuidadosamente determinadas para se evitar a fluorose (intoxicação pelo flúor), que provoca lesões dentárias ou ósseas.

► Destinação do esgoto

A maioria das cidades do mundo não conta com sistema de tratamento de esgoto, lançando-o *in natura* em rios, lagos ou oceanos. No Brasil (IBGE, 2014), 57,6% dos domicílios estão conectados à rede coletora de esgoto, não necessariamente tratado (**tabela 5**).

No país, há grande diferença entre as áreas rural e urbana: enquanto a primeira tem 5,1% dos domicílios conectados à rede de esgoto, na segunda o número chega a 66,2%.

Algumas cidades costeiras possuem emissários submarinos, que lançam o esgoto em alto-mar, fazendo com que alcance correntes marinhas capazes de removê-lo para longe. Porém, a forma mais efetiva de prevenção dos problemas ambientais decorrentes da emissão de dejetos humanos é o tratamento de esgoto (**figura 21**).

O tratamento do esgoto usualmente divide-se em três etapas:

- **Tratamento primário.** É o único realizado na maioria das cidades que possuem estações de tratamento de esgoto. Consiste na remoção de resíduos sólidos em suspensão, geralmente por filtração em grades e por decantação do material. Para facilitar a deposição das partículas em suspensão, geralmente se adicionam agentes flocculadores, como o sulfato de alumínio. Nas localidades que contam apenas com o tratamento primário, depois da decantação do material sólido, o líquido sobrenadante recebe tratamento químico à base de cloro (hipoclorito de sódio, geralmente), sendo posteriormente lançado em rios, lagos e oceanos.
- **Tratamento secundário.** Após a remoção do material sedimentado, o líquido sobrenadante é submetido à ação de microrganismos que decompõem o material orgânico restante. Para facilitar a ação de bactérias aeróbias, o líquido passa por grandes aeradores, que aumentam a concentração de gás oxigênio dissolvido. Após essa etapa, decanta-se novamente o material, obtendo-se um resíduo sólido que contém bactérias e resíduos da decomposição biológica do esgoto.
- **Tratamento terciário.** Mesmo livre de bactérias e de outros agentes potencialmente patogênicos, o líquido resultante dos tratamentos primário e secundário pode conter vírus e poluentes, como metais pesados, compostos orgânicos sintéticos e íons inorgânicos (principalmente nitratos, fosfatos e sulfatos). O tratamento terciário consiste em submeter o esgoto a processos químicos e físicos que removem componentes inorgânicos e eliminam os vírus. Após o tratamento terciário, a água está em condições de retornar ao ecossistema.

Os microrganismos que degradam o material provêm do próprio esgoto, portanto, não são acrescidos nessa etapa.

Figura 21. Estação de tratamento de esgoto em São Paulo (SP), 2013.



▶ Reaproveitando sedimentos

O tratamento de esgoto resulta em grande quantidade de sedimentos ricos em microrganismos, compostos orgânicos e inorgânicos. Esse material pode ser submetido a diversos processos: decomposição anaeróbia e compostagem, deposição em aterros sanitários, incineração e lançamento nos oceanos. Para sofrer decomposição anaeróbia, o material sedimentado é colocado em tanques em que atuam bactérias anaeróbias. A fermentação origina gás carbônico e metano, chamado **biogás**, que pode ser coletado e usado como combustível. O material resultante, convertido em húmus, pode ser aplicado no solo como adubo.

▶ Alternativas para os resíduos orgânicos

Em lugares sem recursos, podem-se construir fossas para depositar os resíduos orgânicos das casas. Há dois tipos de fossa: negra e séptica. A **fossa negra** consiste em um simples buraco escavado no solo; os resíduos ali lançados acabam distribuindo-se por entre as partículas do solo, com alta probabilidade de contaminar as águas subterrâneas e de transmitir várias doenças, como a hepatite viral e a amebíase. Já a **fossa séptica** tem um revestimento de pedra, cimento ou outro material que isola seu interior do contato direto com o solo. Os resíduos acumulam-se no fundo e passam por decomposição biológica, gerando resíduos inorgânicos e gases, como metano e gás carbônico. Na superfície, fica a parte menos densa e líquida, levada para fora da fossa. Em ambientes rurais, as fossas sépticas podem reduzir a carga de resíduos lançados em rios, lagoas e aquíferos.

Em muitas propriedades rurais, usa-se o **biodigestor** (figura 22), que é basicamente um grande compartimento ligado a uma caixa de alimentação, onde são colocados vários materiais, como restos de comida, esterco e bagaço de cana. Submetidos à fermentação, geram biogás, que pode ser armazenado e aproveitado como combustível em veículos, fogões, lâmpões e secadores de produtos agrícolas. Os resíduos sólidos são empregados como fertilizante.

Figura 22. Biodigestor instalado em uma indústria em Rio Grande (RS), 2014.



Gerson Gerloff/Pubar

Transposição do rio São Francisco é tema de debate na Assembleia do RN

[...]

A pior seca dos últimos 100 anos no estado e a transposição das águas do rio São Francisco são temas de uma audiência pública que acontece na manhã desta segunda-feira (28) na Assembleia Legislativa do Rio Grande do Norte.

Participam do debate, além dos deputados estaduais, toda a bancada federal, vereadores, prefeitos e lideranças partidárias. Ministro da Integração Nacional [...] também deve participar do evento, intitulado RN pela Transposição. A audiência está marcada para ter início às 9h.

As obras de transposição do São Francisco, que estão com 78,6% das obras concluídas segundo dados de agosto deste ano, possuem mais de 700 quilômetros de canais de concreto em dois grandes eixos (Norte e Leste) ao longo do território de quatro estados nordestinos (Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte). [...]

Portal G1, 27 ago. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2015/09/transposicao-do-rio-sao-francisco-e-tema-de-debate-na-assembleia-do-rn.html>>. Acesso em: mar. 2016.

O rio São Francisco tem suas nascentes em Minas Gerais, fora do semiárido nordestino. O regime tropical de chuvas em seu alto curso garante-lhe vazão necessária para não secar durante a extensa travessia do sertão. Até recentemente, era o único rio perene do semiárido. Hoje, outros rios foram perenizados por meio da construção de represas e açudes, mas nenhum deles se compara, em vazão, ao São Francisco.

O projeto de transposição, cujo investimento total é estimado em aproximadamente US\$ 700 milhões, envolve o desvio de 150 m³ de água por segundo (cerca de 5% da vazão total do rio) para bacias hidrográficas do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Através de 120 quilômetros de canais, uma das duas principais ligações verteria águas para o rio Jaguaribe (no Ceará), do qual seriam desviadas para o rio Piranhas (que passa a se chamar Açú no Rio Grande do Norte), para o rio Apodi e para o reservatório de Orós. Outra ligação verteria águas do rio São Francisco para o

rio Paraíba, através do açude pernambucano de Poço da Cruz.

Como seria de esperar, a ideia é entusiasticamente apoiada por autoridades e políticos do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Paraíba, nos quais a transposição é apresentada como solução para o problema das secas e fundamento de inúmeros projetos de irrigação. Em Pernambuco, as opiniões estão divididas: no cômputo total, o estado perde alguma água; em compensação, seria atravessado por todos os canais. Entretanto, é na Bahia que se concentra a oposição ao projeto, geralmente amparada em argumentos ambientais. Há os que afirmam que o projeto é tecnicamente inviável, em virtude da elevada evaporação e infiltração; outros criticam seus altos custos, diante de benefícios incertos, e reivindicam a aplicação de parte dos recursos em projetos estaduais de irrigação. Há, também, aqueles que reclamam a perda de parte da água que atualmente banha o estado da Bahia.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia e o texto, responda:

1. (Unicamp-SP) O mapa abaixo representa a área abrangida pelo projeto de transposição do rio São Francisco.



(Elaborado com base em http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/integracao/info_ampliado.asp.)

- a) Qual o principal bioma a ser atingido pela transposição do São Francisco? Dê duas características desse bioma.
- b) Indique um impacto positivo e outro negativo esperados no projeto de transposição do São Francisco.

2. (Enem/MEC)

Segundo a análise do Prof. Paulo Canedo de Magalhães, do Laboratório de Hidrologia da COPPE, UFRJ, o projeto de

transposição das águas do rio São Francisco envolve uma vazão de água modesta e não representa nenhum perigo para o Velho Chico, mas pode beneficiar milhões de pessoas. No entanto, o sucesso do empreendimento dependerá do aprimoramento da capacidade de gestão das águas nas regiões doadora e receptora, bem como no exercício cotidiano de operar e manter o sistema transportador. Embora não seja contestado que o reforço hídrico poderá beneficiar o interior do Nordeste, um grupo de cientistas e técnicos, a convite da SBPC, numa análise isenta, aponta algumas incertezas no projeto de transposição das águas do rio São Francisco. Afirma também que a água por si só não gera desenvolvimento e será preciso implantar sistemas de escoamento de produção, capacitar e educar pessoas, entre outras ações.

Ciência Hoje, volume 37, número 217, julho de 2005. (Adaptado.)

Os diferentes pontos de vista sobre o megaprojeto de transposição das águas do Rio São Francisco quando confrontados indicam que

- a) as perspectivas de sucesso dependem integralmente do desenvolvimento tecnológico prévio da região do semiárido nordestino.
- b) o desenvolvimento sustentado da região receptora com a implantação do megaprojeto independe de ações sociais já existentes.
- c) o projeto deve limitar-se às infraestruturas de transporte de água e evitar induzir ou incentivar a gestão participativa dos recursos hídricos.
- d) o projeto deve ir além do aumento de recursos hídricos e remeter a um conjunto de ações para o desenvolvimento das regiões afetadas.
- e) as perspectivas claras de insucesso do megaprojeto inviabilizam a sua aplicação, apesar da necessidade hídrica do semiárido.

Atividades

1. (Unicamp-SP) A tabela a seguir indica cinco ambientes, com suas respectivas produtividades primárias brutas anuais médias. Indique pelo menos um fator ambiental importante que explique os valores encontrados em cada uma dessas áreas:

Ambiente	Produção (g/m ² /ano)
Região oceânica abissal	<35
Deserto	36-183
Tundra	183-1095
Floresta tropical pluvial	1095-3650
Estuários	3650-9125

2. A Resolução 64/292 da Assembleia Geral das Nações Unidas, de julho de 2010, reconheceu o acesso à água e ao saneamento ambiental como um direito humano fundamental. De acordo com o documento, o abastecimento deve ser suficiente e contínuo, para uso pessoal e doméstico, suprimindo uma necessidade diária de 50 a 100 litros de água por pessoa. Ainda de acordo com a Resolução, fontes de água de boa qualidade devem estar, no máximo, a 1000 metros das moradias e não podem exigir mais do que 30 minutos de caminhada. Essas demandas parecem estranhas para quem está habituado a abrir as torneiras para ter água à disposição; porém, não é a realidade de milhões de pessoas em diversas cidades do Brasil e de países pobres da África, da Ásia e da América Latina, que chegam a caminhar mais de 6000 metros por dia para buscar água, não conseguindo, em média, mais do que 5 litros por dia, por pessoa, e sem a qualidade necessária. Ao mesmo tempo, ainda segundo a ONU, inúmeras pessoas fazem uso da água de maneira irresponsável, com alguns países alcançando consumo diário médio de 300 a 500 litros *per capita*.

- a) Cite algumas consequências, para a saúde humana, do consumo da água de má qualidade.
- b) Que medidas podem ser tomadas para reduzir o consumo de água domiciliar?
3. (UFSCar-SP) O lançamento de dejetos humanos e de animais domésticos nos rios, lagos e mares leva a um fenômeno conhecido como eutroficação, uma das formas mais comuns de poluição das águas.
- a) Em que consiste esse fenômeno?
- b) O que ocorre com os níveis de oxigênio dissolvido na água em ambientes eutróficos? Justifique.

4. (UFRJ) Os coliformes fecais são utilizados como indicadores da qualidade da água. Para isso, mede-se o número aproximado de coliformes por unidade de volume. Se o número de coliformes por unidade de volume encontra-se acima de um determinado limite, a água é considerada imprópria para o consumo ou para o banho. Explique por que a quantidade de coliformes pode ser utilizada como indicador da qualidade da água.

5. Alguns fatores podem interferir no ciclo hidrológico, e muitos deles relacionam-se às atividades antropogênicas, como o desflorestamento. Estima-se que mais de 90% de toda a água evaporada das terras continentais seja oriunda da transpiração dos vegetais. Na região da Floresta Amazônica, por exemplo, a quantidade de chuva que cai é dependente do vapor de água gerado por esse processo.
- a) De que maneira a derrubada de matas e florestas pode interferir no ciclo da água?
- b) Comente quais alterações climáticas são esperadas em decorrência do desflorestamento.
- c) Cite pelo menos outros dois problemas ambientais decorrentes da ação direta ou indireta do ser humano sobre o ciclo da água.

6. Leia a notícia:

Uma área de 1 km² de floresta — algo em torno de cem campos de futebol — foi devastada pelo garimpo clandestino do Juma, em Novo Aripuanã (AM), diz levantamento do Ibama. [...]

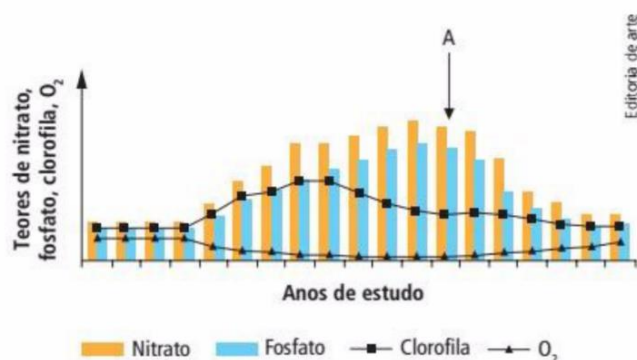
O [...] Departamento Nacional de Produção Mineral [...] diz que o garimpo do Juma está totalmente irregular, contaminando com mercúrio o rio que dá nome à região. [...]

[...]

BRASIL, K. Garimpo clandestino devasta floresta no sul do Amazonas. *Folha de S.Paulo*. Disponível em: <www1.folha.uol.com.br/fsp/poder/po0310201002.htm>. Acesso em: mar. 2016.

- a) Qual é o problema causado pela contaminação do mercúrio nas cadeias alimentares?
- b) Em quais organismos espera-se encontrar maior concentração desse poluente?
7. Os seguintes eventos podem ocorrer em consequência do despejo de esgoto doméstico em lagoas e lagos.
- I. Aumento da concentração de compostos nitrogenados e fosfatados.
- II. Morte de organismos aeróbios (autótrofos e heterótrofos).
- III. Proliferação de algas, cianobactérias e outros microrganismos fotossintetizantes.
- IV. Proliferação de microrganismos aeróbios.
- V. Redução da concentração de O₂ na água.
- a) Indique a sequência temporal em que esses eventos acontecem.
- b) Qual é o nome desse fenômeno?
- c) Que medidas individuais podem ser adotadas para reduzir o risco de que ele ocorra nas cidades onde vivemos?

8. (Unicamp-SP) Desde o início do crescimento habitacional desordenado às margens de uma represa, suas águas vêm sendo analisadas periodicamente em relação aos teores de nitrato, fosfato, clorofila e oxigênio dissolvido, em virtude do crescente despejo de esgotos sem tratamento. Após a ocorrência da morte de um grande número de peixes, a comunidade ribeirinha pediu às autoridades que fossem instaladas tanto a rede de esgotos quanto uma estação de tratamento dos resíduos. Os resultados obtidos em relação aos fatores citados, antes e após a instalação da rede e estação de tratamento de esgotos, estão representados na figura abaixo. A instalação da estação de tratamento de esgotos ocorreu em A.



- a) Que relação existe entre as análises realizadas e a poluição das águas por esgotos domésticos? De que forma os fatores analisados (mostrados na figura) estão relacionados com a mortalidade de peixes?
- b) As autoridades garantiram à população ribeirinha que a instalação da estação de tratamento de esgotos permitiria que as águas da represa voltassem a ser consideradas de boa qualidade. Com base nos resultados mostrados na figura, justifique a afirmação das autoridades.
9. O Sol participa do ciclo da água, pois, além de aquecer a superfície da Terra, dando origem aos ventos, provoca a evaporação da água dos rios, lagos e mares. O vapor de água, ao se resfriar, condensa-se em gotículas, que se agrupam, formando as nuvens, neblinas ou névoas úmidas. As nuvens podem ser levadas pelos ventos de uma região para outra. Com a condensação e, em seguida, a chuva, a água volta à superfície da Terra, caindo sobre o solo, rios, lagos e mares. Parte dessa água evapora, retornando à atmosfera; outra parte escoar superficialmente ou se infiltra no solo, indo alimentar rios e lagos. Esse processo é chamado de ciclo da água. Considere, então, as seguintes afirmativas:
- I. A evaporação é maior nos continentes, uma vez que o aquecimento ali é maior que nos oceanos.
- II. A vegetação participa do ciclo hidrológico por meio da transpiração.

- III. O ciclo hidrológico condiciona processos que ocorrem na litosfera, na atmosfera e na biosfera.
- IV. A energia gravitacional movimenta a água dentro de seu ciclo.
- V. O ciclo hidrológico é passível de sofrer interferência humana, podendo apresentar desequilíbrios.

Quais afirmativas estão corretas?

10. (UFC-CE) O ciclo da água pode ser afetado por fatores decorrentes da atividade humana. De que maneira o aumento crescente do teor de gás carbônico na atmosfera e da pavimentação de ruas e estradas interfere nesse ciclo?

11. (Cesgranrio-RJ)

Bactérias faxineiras

Uma das mais ativas participantes da comunidade que habita o andar de cima dos oceanos é a *Pseudomonas aeruginosa*, bactéria que consegue degradar até óleo despejado no mar.

Superinteressante.

Explique por que a atuação dessa bactéria pode ser útil ao ecossistema, em casos de vazamento de petróleo.

12. (UFTM-MG)

Seca e poluição provocam morte de peixes na lagoa da Pampulha

A falta de chuvas, o excesso de luz solar e a poluição provocam um fenômeno natural que deixa as águas da lagoa da Pampulha, em Belo Horizonte, com pouca oxigenação e coloração esverdeada, chamando a atenção de quem passa pelo local. Peixes apareceram mortos nos últimos dias e o mau cheiro aumentou.

Fonte: www.iepha.mg.gov.br (acesso em 19 jul. 2007).

A notícia descreve dois fenômenos que, em Biologia, são conhecidos por eutrofização e floração das águas.

- a) Explique por que a eutrofização leva à pouca oxigenação da água e à produção de mau cheiro.
- b) Explique como a floração das águas contribuiu para a eutrofização.
13. (Unicamp-SP) Os recursos hídricos estão sendo cada vez mais contaminados por esgoto doméstico, que traz consigo grande número de bactérias. Apesar de parte delas não ser patogênica, muitas causam problemas de saúde ao ser humano. Levando em conta que as bactérias decompõem a matéria orgânica por processo aeróbio ou anaeróbio e que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e o índice de coliformes fecais são utilizados como indicadores da poluição da água, resolva as questões a seguir:
- a) Compare águas poluídas e não poluídas quanto a: DBO, índice de coliformes fecais, teor de oxigênio dissolvido e ocorrência de processos aeróbios e anaeróbios.
- b) Os coliformes fecais são bactérias anaeróbias facultativas. Metabolicamente, o que é um organismo anaeróbio facultativo?
- c) Cite uma doença bacteriana adquirida pela ingestão de água contaminada e dê o nome de seu agente causador.



A água é um recurso mal distribuído, tornando evidentes as desigualdades.

Água, poder e política

Os dois textos a seguir são cronologicamente separados por mais de dois milênios. O primeiro, escrito por Aristóteles, filósofo grego (384 a.C.-322 a.C.); o segundo, pelo sociólogo e cientista político Demétrio Magnoli. Marcados por preocupações ecológicas, ambos têm profundas conotações políticas.

Texto 1

A cidade ideal

Já indicamos que, na medida do possível, a cidade deve estar em comunicação, ao mesmo tempo, com o interior do país, o mar e a totalidade de seu território. Quanto a sua localização, é recomendável que a cidade esteja num lugar escarpado, levando em conta quatro considerações. De início, como um requisito indispensável, vejamos o que diz respeito à saúde (pois as cidades voltadas para o leste e para os ventos que sopram do Levante são as mais saudáveis; em segundo lugar, vêm aquelas protegidas contra os ventos do norte, porque conhecem um inverno mais suave). Entre as demais considerações, um lugar escarpado é mais favorável, ao mesmo tempo, à atividade política e aos trabalhos da guerra. Tendo em vista as operações militares, a cidade deve oferecer a seus cidadãos uma saída fácil, assim como deve dificultar o acesso e o ataque para os adversários; antes de tudo, ela deve ter águas e fontes naturais em abundância (porém, se tal não acontece, já se encontrou o meio de obtê-las, pela construção de cisternas

vastas e profundas que recolhem a água da chuva, de modo que, em tempo de guerra, a água nunca falte aos cidadãos isolados do resto do país). Uma vez resolvidos os problemas da saúde dos habitantes — que depende principalmente de uma localização judiciosa escolhida, num terreno sadio e bem exposto — e, em segundo lugar, da utilização das águas salubres, o ponto seguinte merece igualmente nossa especial atenção: as coisas de maior e mais frequente consumo são também as que mais contribuem para a nossa saúde e a influência das águas e do ar possui esta propriedade de que falamos. Eis por que nos Estados sabiamente governados, se todas as fontes não são igualmente puras e se há carência de fontes de boa qualidade, as águas que servem para a alimentação devem ser separadas das que são destinadas para outras coisas. [...]

Aristóteles. Política. In: Pinsky, J. 100 textos de História Antiga. São Paulo: Contexto, 1988.

Texto 2

Água de rico, água de pobre

Demétrio Magnoli, sociólogo e cientista político

“Uísque, bebe-se; água, disputa-se”. A observação, do escritor americano Mark Twain, aplica-se com exatidão a muitos países. No século XIX, o controle sobre as jazidas de alguns minérios influenciou a divisão colonial da África; no século XX, os campos petrolíferos do Oriente Médio tornaram-se focos de disputa e tensão geopolítica; o século XXI, por sua vez, assiste a conflitos pelo controle sobre fontes de abastecimento de água doce.

Tradicionalmente, os níveis de desenvolvimento são medidos por indicadores como o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, a

produção industrial, as taxas de mortalidade infantil, o consumo de energia ou o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). O consumo total de água e a distribuição desse consumo, todavia, também fornecem valiosas informações sobre o desenvolvimento econômico e as condições de vida da população. Essas informações devem ser interpretadas à luz das diferenças naturais e das desigualdades socioeconômicas entre os países. Nos países desenvolvidos, a parcela de água dedicada às atividades agrícolas é significativa, superando largamente o consumo doméstico; o consumo industrial, porém, rivaliza-se com o agrícola. Nos países

em desenvolvimento, pelo contrário, a indústria utiliza muito menos água que a agricultura.

Em muitos casos, a oferta insuficiente de água funciona como fator limitante do desenvolvimento. A Arábia Saudita só pode expandir o uso industrial de água através de custosas usinas de dessalinização. Na década de 1970, quando as rendas do petróleo pareciam poder financiar tudo, ela chegou a experimentar a técnica do reboque de *icebergs*.

Em todo o mundo, cerca de 70% da água disponível é utilizada na agricultura, para irrigação, enquanto uma parcela de 21% é destinada à geração de eletricidade. O uso domiciliar corresponde a 8% do consumo total de água; entretanto, nos países desenvolvidos, essa fração eleva-se para 15%, indicando que a urbanização tende a aumentar significativamente a necessidade de água tratada.

Segundo a ONU, pelo menos 1 bilhão de pessoas em todo o mundo não dispõem, atualmente, de fontes seguras de água para consumo (para beber, cozinhar ou cuidados pessoais); enquanto isso, outras ainda se permitem um desfrute que beira a irresponsabilidade.

Em muitas regiões, as pessoas precisam se deslocar por longas distâncias, em busca de uma quantidade irrisória de água, nem sempre de boa qualidade. Essa atividade é geralmente executada por mulheres e crianças, acarretando grande gasto de tempo, dificultando o acesso à escola e agravando a pobreza.

Em países muito pobres (como a Etiópia e o Quênia), o uso industrial de água é praticamente nulo, superado em muitas vezes pelo uso domiciliar que, por sua vez, é extremamente baixo em relação aos países desenvolvidos.

Nos Estados Unidos, por exemplo, cada indivíduo consome diariamente, em média, 660 litros de água, uma verdadeira cascata que supre a cozinha, os banheiros, a área de serviço das residências, permite a lavagem de automóveis e enche piscinas. Na Etiópia, cada indivíduo consome, em média, 15 litros de água por dia.

Essa comparação estarrecedora revela uma situação de extrema carência de água, além de apontar para a subnutrição generalizada e a disseminação de doenças através de águas superutilizadas e contaminadas.



G. Evangelista/Opção Brasil Imagens

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Estabeleça um paralelo entre as preocupações expostas por Aristóteles e as ponderações do sociólogo Demétrio Magnoli sobre as possíveis disputas pela água no futuro.
2. Atualmente, já existem casos de conflito entre países motivados pela disputa por fontes de água. Pesquise e discuta alguns desses casos.

Biosfera e ação humana

Solo e resíduos sólidos

Em busca do paraíso perdido

Há cerca de 10 mil anos, uma significativa mudança cultural alterou o modo de vida de nossos antepassados, antes baseado em caça e coleta, para um padrão centrado no cultivo de plantas, na criação de animais e no estabelecimento de núcleos urbanos. Se revolução pode ser entendida como um momento que rompe com o antigo e cria um novo modo de vida, a mais significativa de todas as revoluções é também a mais antiga: ocorreu no Neolítico, tornou-se conhecida como a Primeira Revolução Agrícola e fincou as raízes das modernas sociedades urbanas.

Durante mais de 90% da história humana fomos caçadores e coletores. A partir do momento em que passamos a plantar e a criar animais, desviamos o destino dos ecossistemas, colocados a trabalhar em favor da nossa espécie. Antes, bastava o excedente; com a agricultura, passamos a exigir a maior fração.

Toda sucessão ecológica é uma sequência de alterações na composição das comunidades, culminando com a formação de uma comunidade clímax, relativamente estável. Ao mesmo tempo que a biomassa e a biodiversidade aumentam, eleva-se a produtividade primária bruta e diminui a produtividade primária líquida. Uma floresta ombrófila consome tudo (ou quase tudo) o que produz. Por isso, o modo de vida extrativista mantém populações humanas relativamente pequenas. Era assim que viviam nossos antepassados; é ainda assim que vivem alguns grupos humanos.

Quando um ecossistema natural cede lugar a uma área agrícola, a situação se inverte: as lavouras precisam gerar excedentes ou, dito de outra forma, é a produtividade primária líquida que interessa. Como a quantidade de energia luminosa que a área recebe não aumenta, só há um meio de arrancarmos do solo mais do que ele naturalmente produz: investimento químico (fertilizantes) e energético, na forma de trabalho muscular, movido a ATP (tração animal ou a enxada), ou trabalho mecânico de tratores e implementos agrícolas, usando combustíveis fósseis.

Com investimento energético, fertilizantes e variedades selecionadas, ecossistemas agrícolas têm elevada produtividade primária líquida, que é exportada (grãos em geral, como soja, trigo, feijão etc.) ou pastada (principalmente pelo gado bovino). Com isso, a agricultura permite que determinada área possa alimentar maior número de pessoas. Não é simples coincidência a população mundial ter aumentado significativamente após a Segunda Revolução Agrícola, que difundiu o uso de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos.

Com a publicação do livro **Primavera silenciosa**, em 1962, a pesquisadora norte-americana Rachel Carson (1907-1964) fez as pessoas se darem conta de que pesticidas causam danos ao ambiente. Todavia, é inegável que a utilização de defensivos agrícolas e fertilizantes inorgânicos, principalmente a partir de meados do século XX, provocou um formidável salto na produtividade agrícola em todo o mundo. O emprego de fertilizantes químicos em larga escala difundiu-se a partir de 1950 e acredita-se que, sem eles, a produção mundial de alimentos seria 40% menor. Paralelamente, de toda a produção mundial

de alimentos, mais de 50% são perdidos nas lavouras, no armazenamento ou no transporte, e os insetos respondem por mais de um terço desse desperdício. Sem inseticidas, a oferta mundial de alimentos seria reduzida à metade.

Os biocidas químicos (particularmente inseticidas) desenvolveram-se a partir da década de 1940 e, entre 1950 e 2010, a quantidade usada em todo o mundo aumentou quase 40 vezes. Um dos problemas provocados pelo uso de inseticidas é a seleção de linhagens de insetos resistentes. Quantidades progressivamente maiores passam a ser empregadas, acentuando os efeitos lesivos desses produtos sobre o ambiente.

Atualmente, para tratar pacientes com meningites bacterianas, os médicos dispõem de um amplo arsenal farmacológico que inclui diversas classes de antibióticos. Para sua correta utilização, é preciso conhecer os efeitos colaterais e tomar cuidados para evitar a superdosagem, a seleção de linhagens de microrganismos resistentes e outros problemas.

Aos agricultores cabem os mesmos cuidados: biocidas sintéticos e fertilizantes inorgânicos apresentam efeitos colaterais ao ambiente e aos seres humanos. Seu uso deve ser cauteloso e, sempre que possível, dar lugar a métodos alternativos, como o emprego de fertilizantes orgânicos, inimigos naturais de pragas e práticas adequadas de cultivo, como a rotação de culturas.

Se, há alguns milênios, tivessem ocorrido movimentos contrários às pesquisas genéticas com plantas cultiváveis, provavelmente hoje não comeríamos pão e massas, uma vez que o trigo atual (*Triticum aestivum*), uma das plantas mais cultivadas em todo o mundo, resulta de cruzamentos entre variedades de cereais selvagens. Os agricultores pioneiros atuaram como agentes de seleção, identificando, isolando e perpetuando variedades com características vantajosas (maior produtividade, ciclos reprodutivos mais curtos ou resistência a pragas). A mesma coisa ocorreu com outras espécies vegetais, como a batata e o tomate, dois exemplos originários das Américas.

O que a moderna biotecnologia vem buscando é tirar da mão do acaso a transferência de genes de um organismo para outro. As técnicas de manipulação genética têm desenvolvido plantas mais produtivas ou resistentes a insetos. Como não poderia deixar de ser, numerosas preocupações cercam a utilização das plantas transgênicas, desde riscos à saúde humana e aos ecossistemas até a transmissão horizontal (de uma espécie para outra) desses genes, que poderia levar ao desenvolvimento de superpragas. O princípio da precaução advoga que, havendo dúvida a respeito da segurança, mais estudos devem ser feitos até que possamos optar pela liberação ou proibição dos transgênicos.

Alimentos geneticamente modificados têm provocado discussões em que se misturam aspectos ambientais, médicos, comerciais e éticos. Em alguns países, como nos Estados Unidos, os transgênicos quase não têm encontrado resistência; em outros, como na Inglaterra, são tidos como o novo mal do século, e mais da metade da população os rejeita. Este é mais um exemplo da importância de a população (e não apenas os cientistas) terem contato com a ciência e suas implicações.



Irrigação em plantação de soja, em São Gonçalo do Abaeté (MG), 2014.

O perfil do solo

Durante milhões de anos, a crosta terrestre manteve-se coberta de rochas, que, com o tempo, acabaram fragmentando-se. Os principais agentes da desagregação são as **mudanças de temperatura** (que ocasionam dilatação e retração das rochas, provocando fraturas), o **vento** e a **água** (**figura 1**).

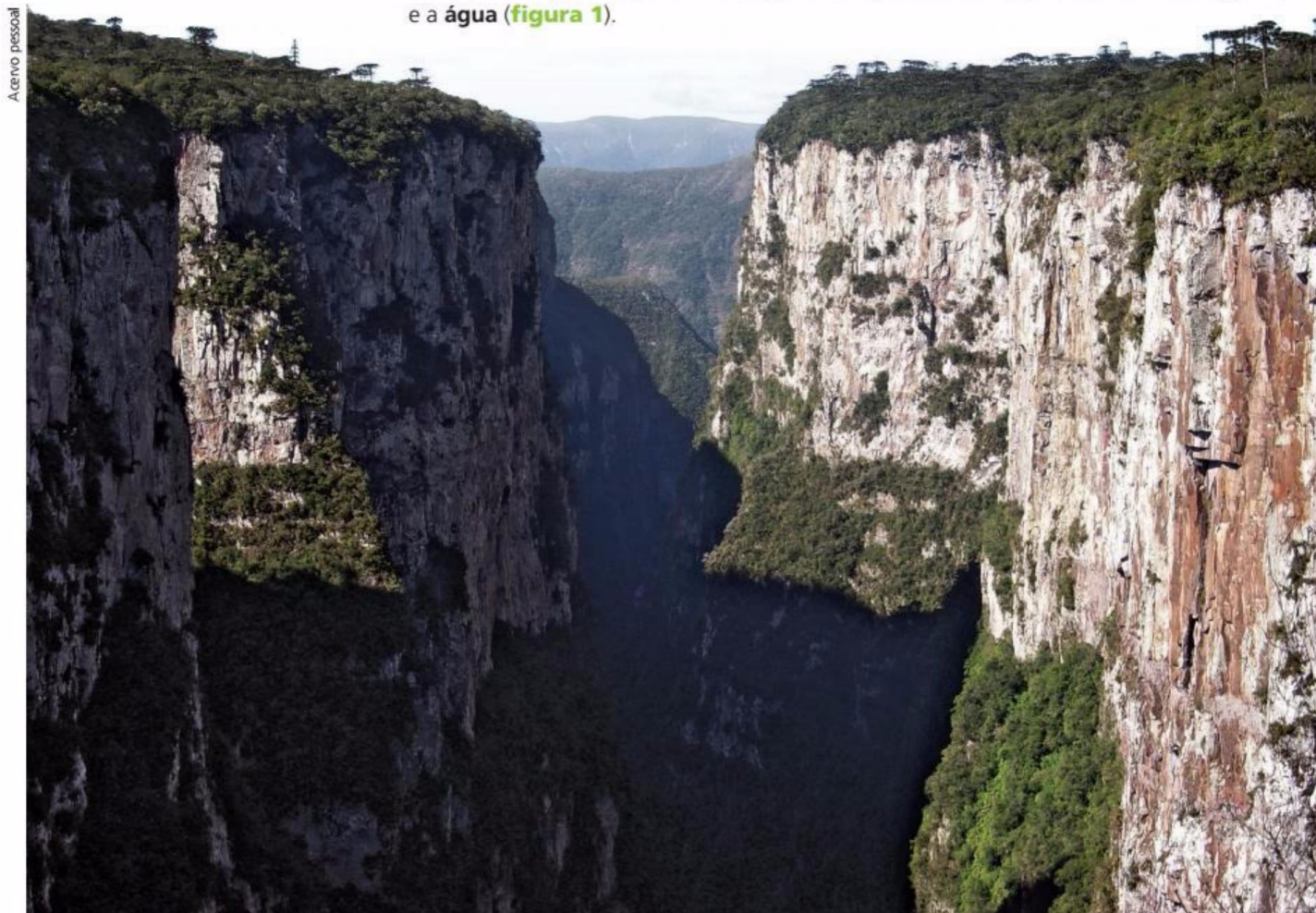


Figura 1. O trabalho permanente da água, dos ventos e das variações de temperatura modela a superfície do planeta, alterando sua morfologia com o passar do tempo. O desgaste provocado pelas águas do rio Itaimbezinho (RS) esculpiu este *canyon* no Parque Nacional Aparados da Serra. (Fotografia de 2008.)

Por entre as partículas do solo, a água e os gases podem penetrar, criando condições para o desenvolvimento de seres vivos. Os organismos vivos contribuem para a formação do solo ao fornecer material orgânico que entra em decomposição, o húmus, constituído de matéria orgânica e compostos inorgânicos (como sais minerais, gás carbônico e amônia), os quais podem ser reaproveitados pelas plantas, cujas raízes, ao crescerem, forçam passagem por fissuras entre as rochas e aumentam a fragmentação. Alguns seres vivos, como as minhocas (que escavam canais, além de produzirem húmus), também interferem na penetração de gases e água no solo.

A chuva pode lavar os nutrientes do solo, carregando-os para camadas inferiores ou para rios e lagos. Tal processo, chamado **lixiviação**, empobrece o solo, tornando-o mais ácido e dificultando a atividade de organismos e a retenção de nutrientes. Se a lixiviação for contínua e intensa, ocorrerá a **laterização**: formam-se hidróxidos de ferro, alumínio e níquel, contribuindo para compactar o solo, dificultando a aração e impossibilitando a agricultura.

De toda a área emersa da Terra, apenas pouco mais de 11% é adequada para a agricultura, sem necessitar de correções complexas ou caras (**figura 2**).



Figura 2. Solos de terras emersas, quanto à possibilidade de cultivo.

Fonte: ALEXANDRATOS, N. (ed.). *World agriculture: towards 2010*. Roma: FAO, 1995.

O solo está em permanente transformação e sofre a ação erosiva das águas (principalmente das chuvas e dos rios) e dos ventos. É um recurso potencialmente renovável, pois o desgaste provocado pela erosão é, em parte, compensado pelo desgaste da **rocha-matriz**, que vai formando mais solo (**figura 3**).

Em condições naturais, tais processos muitas vezes são controlados e limitados pela presença da cobertura vegetal, que funciona como camada de proteção: parte da água da chuva que cai sobre a vegetação evapora antes de atingir o solo; as folhas funcionam como redutores da velocidade dos ventos; as raízes das plantas formam uma teia de fixação das partículas do solo, diminuindo os efeitos erosivos da água e dos ventos.

O equilíbrio dinâmico dos solos pode ser rompido pela ação humana. As atividades agrícolas, a extração madeireira, a construção de estradas e a expansão do uso industrial e urbano da terra removem a cobertura vegetal nativa, tornando o solo mais vulnerável e acelerando a erosão. A moderna agricultura comercial também pode promover degradação: a irrigação excessiva, em solos com pequena capacidade de drenagem natural, elimina nutrientes necessários ao crescimento das plantas; o uso inadequado de fertilizantes e de pesticidas polui a superfície e as águas subterrâneas; a excessiva especialização agrícola, que uniformiza as culturas e a criação de gado, reduz a diversidade genética, tornando plantas e animais mais suscetíveis a doenças e ao ataque de pragas.

No Brasil, a degradação do solo atinge áreas do Nordeste, dos cerrados e dos pampas gaúchos. A criação de gado e as monoculturas de trigo e soja provocaram a eliminação das vegetações herbáceas típicas dessas regiões. A aceleração dos processos erosivos causou a diminuição da fertilidade do solo e o avanço da desertificação (**figura 4**).

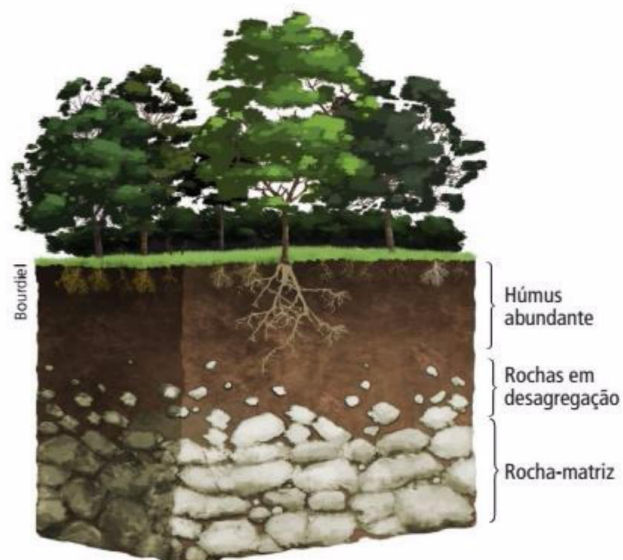


Figura 3. Perfil de um solo fértil. Sobre a rocha-matriz, encontram-se rochas em gradativa desagregação, enquanto a superfície apresenta partículas pequenas e húmus abundante. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



Figura 4. Área de desertificação em Gilbués (PI), 2013.

Ciclo do nitrogênio

O desenvolvimento das plantas requer diversos nutrientes, dos quais três são considerados **macronutrientes essenciais**: o nitrogênio, o fósforo e o potássio, componentes de uma das mais comuns formulações de fertilizante (o NPK).

O **nitrogênio** é fundamental para a fotossíntese, como constituinte da molécula da clorofila e das proteínas (inclusive enzimas) envolvidas no processo. A deficiência de nitrogênio torna as folhas amareladas e reduz a taxa fotossintética, bem como a velocidade de crescimento e a produtividade das plantas.

As lavouras podem retirar grandes quantidades de nitrogênio do solo, exigindo a reposição na forma de **fertilizantes orgânicos** (como o esterco animal) ou **fertilizantes nitrogenados inorgânicos**.

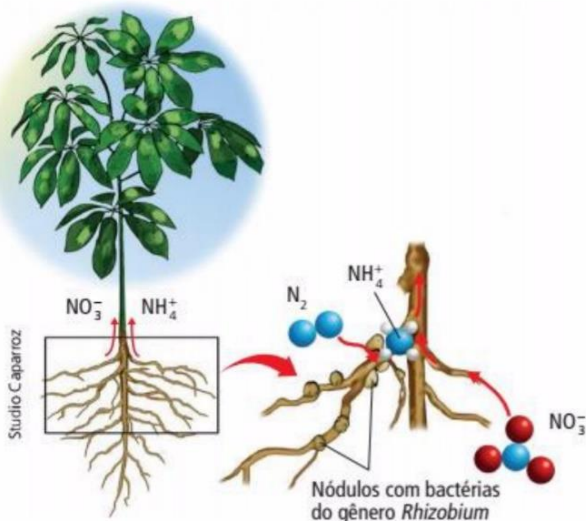


Figura 5. No detalhe (indicado pela seta vermelha), bactérias fixadoras de nitrogênio (gênero *Rhizobium*) penetram em raízes de leguminosas, onde se multiplicam e formam nódulos, obtendo abrigo e nutrientes. Trata-se de um caso de mutualismo. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Embora represente 79% (em massa) do ar atmosférico, o nitrogênio gasoso (N_2 ou nitrogênio molecular) é biologicamente inerte para animais e vegetais: entra no organismo e dele sai sem se incorporar nos tecidos. Somente certos microrganismos são capazes de assimilá-lo (**figura 5**). Todavia, o nitrogênio é essencial à vida, e os principais compostos orgânicos nitrogenados são as proteínas, os ácidos nucleicos, a clorofila e o ATP.

Além do N_2 , as principais formas de nitrogênio inorgânico são a amônia (NH_3), os nitritos (NO_2^-) e os nitratos (NO_3^-).

A principal fonte de nitrogênio para as plantas (produtores) são os nitratos, embora também possam utilizar a amônia. Os consumidores (como os animais) obtêm, direta ou indiretamente, compostos nitrogenados alimentando-se dos produtores, que os fabricam a partir de substâncias inorgânicas retiradas do ambiente.

O caminho percorrido por esse importante nutriente na biosfera constitui o ciclo do nitrogênio (**figura 6**), que sofre diversas influências da ação humana. Um exemplo é a emissão atmosférica de óxido nitroso (N_2O), liberado na queima de combustíveis fósseis e um dos responsáveis pelo aumento do efeito estufa e pelo aquecimento global.

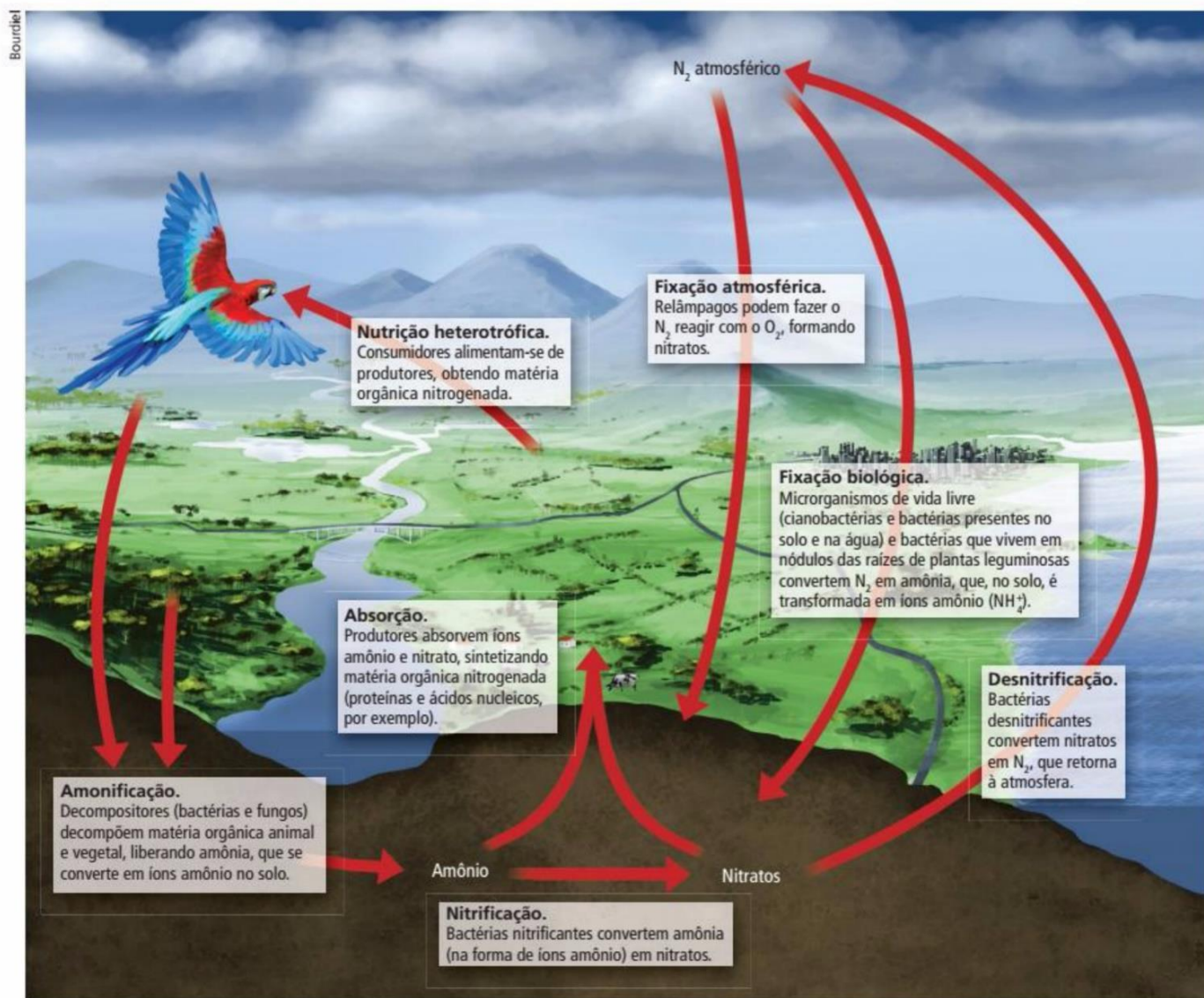


Figura 6. Representação esquemática do ciclo do nitrogênio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Os processos realizados por bactérias nitrificantes (gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* e *Nitrobacter*) liberam energia por elas empregada na produção de matéria orgânica a partir de gás carbônico e água. Tais bactérias são autótrofas e executam a **quimiossíntese**, que utiliza a energia liberada na oxidação de compostos inorgânicos.

Práticas agrícolas

As plantas cultivadas retiram grande quantidade de minerais do solo, promovendo seu desgaste após algum tempo. Certas técnicas de cultivo ajudam a preservar a fertilidade dos solos.

▶ Rotação de culturas, adubação verde e fertilização orgânica

Na **rotação de culturas**, a área é dividida em lotes menores, onde são cultivadas espécies diferentes de plantas (**figura 7**). Em geral, entre as espécies que participam do rodízio, há uma leguminosa, que incorpora compostos nitrogenados ao solo, repondo parte do que foi retirado.

A fixação biológica do nitrogênio com a participação de bactérias tem sido desenvolvida no Brasil desde 1950, na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), propiciando ao país grande economia anual de gastos com fertilizantes. Bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico são incorporadas em plantas de arroz e de cana-de-açúcar, tornando as plantações menos dependentes de fertilizantes.

Também devem ser cultivadas plantas que exigem pouca aração, poupando o solo da compactação causada pela repetida passagem de tratores.

Um aspecto importante da rotação de culturas é a redução da necessidade do uso de inseticidas. Com o cultivo de plantas diferentes, evita-se a proliferação excessiva de certas espécies de insetos que se desenvolvem especificamente em determinada cultura, como a lagarta-rosada, que compromete o algodão, ou a lagarta-do-cartucho, que ataca o milho.

Plantas perenes (que passam por várias safras consecutivas, como laranjeiras e pés de café) podem ser associadas a uma leguminosa (por exemplo, a crotalária), que, após se desenvolver, é cortada, triturada e incorporada ao solo. Essa técnica é denominada **adubação verde**. A incorporação da matéria orgânica também favorece o desenvolvimento de **húmus**, além de auxiliar a manutenção da aeração e da umidade do solo. Incorporada no solo, a crotalária repõe substâncias que retirou durante seu crescimento, bem como o nitrogênio fixado pelas bactérias dos nódulos de suas raízes.

Outra forma de aumentar a fertilidade do solo é pela **fertilização orgânica**, por acréscimo de **esterco animal** (fezes e urina), que adiciona compostos nitrogenados e estimula a proliferação de fungos e bactérias. Alternativamente, pode-se usar o **composto orgânico** obtido na compostagem dos resíduos orgânicos. Além de incorporarem nutrientes, o esterco animal e o composto orgânico facilitam a aeração e ajudam a manter a umidade do solo.

▶ Cultivo mínimo e plantio direto

Os arados revolvem a terra, eliminando gramíneas que brotam naturalmente, rompendo a camada superficial do solo e criando um leito poroso e úmido, adequado para a germinação das sementes. Usadas ao longo de muitos anos, as técnicas tradicionais de **aração** acabam por degradar os solos, principalmente quando o cultivo é feito morro abaixo, isto é, sem respeitar a curvatura do terreno. A aração executada erradamente facilita a formação de enxurradas, acentuando a erosão e a lixiviação, causando o empobrecimento do solo.

Os programas de **cultivo mínimo** (ou aração mínima) destinam-se a conservar, na camada superficial, os restos vegetais que sobram após a colheita. Esse material contribui para reduzir a erosão e conservar a umidade do solo. Além de preservar o solo, essa técnica economiza combustível.

Um sistema associado ao cultivo mínimo e à rotação de culturas é o **plantio direto**, que permite plantar sem aração prévia. Implementos agrícolas especialmente desenvolvidos para esse fim colocam sementes e adubo diretamente sobre a palha da cultura anterior. A palha reduz a perda da camada superficial do solo tanto pelo vento como pela chuva. Esse método aumenta a incorporação de matéria orgânica no solo, diminuindo a compactação, já que há menos passagem de máquinas agrícolas. Além disso, o consumo de combustíveis é cerca de 70% menor que nas culturas convencionais.

Uma conversa com agricultores, engenheiros agrônomos, engenheiros florestais ou engenheiros ambientais tornará a aula mais produtiva. Eventualmente, alunos e familiares que tenham atividades profissionais ligadas à terra poderão enriquecer os debates e se beneficiar dessas discussões. Procure envolvê-los, para que apresentem as próprias vivências.

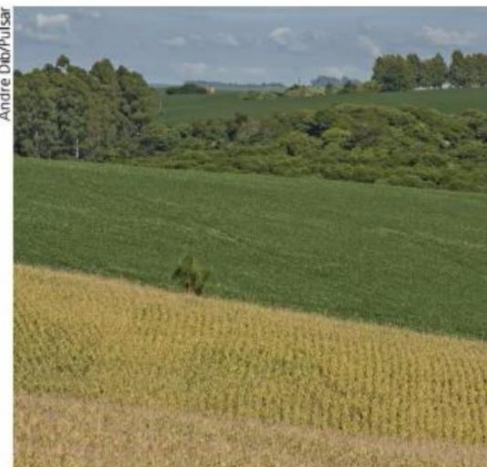


Figura 7. Lavouras de rotação em Frederico Westphalen (RS), 2015. A cada ano, na área onde se plantava uma espécie, planta-se outra, em rodízio. Dessa forma, evita-se que sejam cultivadas em uma mesma área, consecutivamente, espécies que apresentam as mesmas necessidades nutricionais, dando tempo para que o solo recupere a fertilidade. Além disso, evita-se a proliferação de espécies invasoras.

No Brasil, usam-se 30 milhões de toneladas/ano de fertilizantes químicos, mas apenas 12 milhões de toneladas são efetivamente aproveitadas pelas plantas; o restante é levado pelas águas, contaminando rios e aquíferos.

A correta interpretação das análises químicas do solo e a atuação de técnicos agrícolas e engenheiros agrônomos tornam a utilização de fertilizantes mais eficiente e reduz os impactos sobre os ecossistemas, além de reduzir custos.

Fertilizantes inorgânicos

Atualmente, é prática usual o emprego de fertilizantes químicos cuja formulação é conhecida como NPK, pois contêm **nitrogênio** (como ureia ou íons amônio e nitratos), **fósforo** (como íons fosfato) e **potássio**. Seu emprego em larga escala difundiu-se a partir de 1950. Acredita-se que, sem eles, a produção mundial de alimentos seria aproximadamente 40% menor.

A menos que sejam aplicados em associação com esterco animal, composto orgânico ou adubação verde, os fertilizantes químicos não aumentam a quantidade de húmus, a aeração nem a umidade do solo. Ao contrário, a adubação excessiva pode tornar o solo seco e compactado, com menos espaços por onde o ar possa penetrar.

Os fertilizantes químicos também agravam a poluição atmosférica, pois estão associados com a emissão de gases, tanto na produção como no transporte e na aplicação. Na cultura, sua aplicação requer mecanização e consumo de óleo diesel, aumentando a emissão de poluentes. Os fertilizantes se relacionam à poluição das águas, pois o aumento da quantidade de nitratos pode acarretar eutrofização, e a presença desses íons em águas servidas à população (o que já se verifica em muitas regiões) pode afetar a saúde das pessoas.

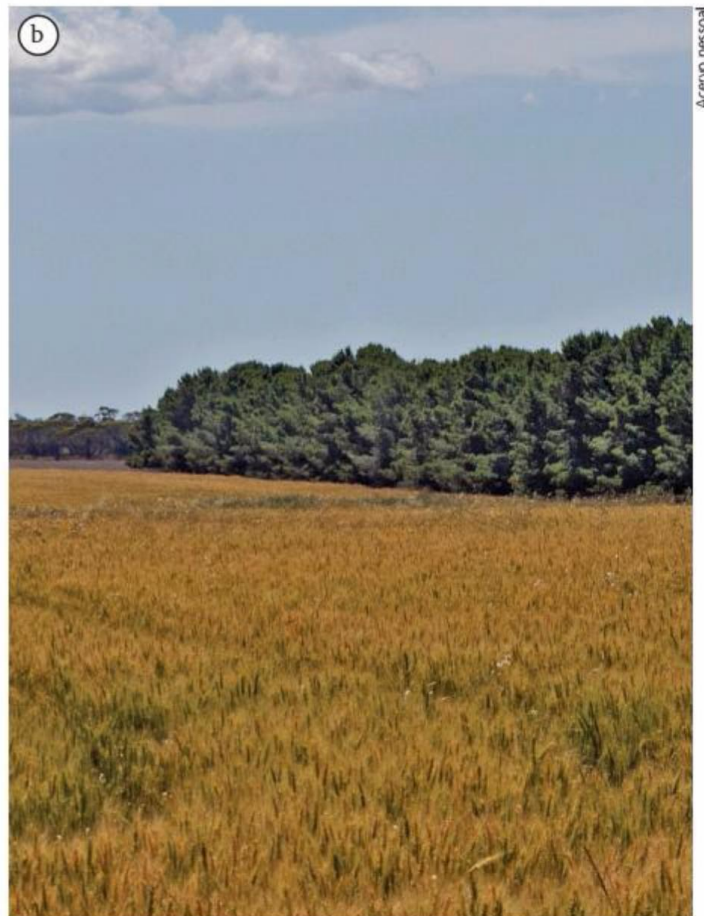
Proteção mecânica contra a erosão

Um dos métodos destinados a reduzir mecanicamente os efeitos da erosão é o cultivo seguindo **curvas de nível** no terreno, forma que evita a formação de leitos naturais de enxurradas. Outra técnica consiste no **terraceamento** (**figura 8a**), adotado em vertentes montanhosas, onde a erosão pela água das chuvas representa ameaça ainda maior. Os terraços reduzem a velocidade das águas correntes.

O trabalho erosivo do vento pode ser combatido por meio do plantio de espécies vegetais que atuam como **quebra-ventos** (**figura 8b**): longas fileiras de plantas são cultivadas ao lado do terreno agrícola, funcionando como escudos que diminuem a velocidade dos ventos, reduzindo a evaporação e preservando a umidade. Além disso, fornecem moradia para aves e outros inimigos naturais de pragas agrícolas e para animais polinizadores.

Outro método de combate à erosão pelo vento é a combinação de plantas rasteiras com plantas arbustivas (café e soja, por exemplo). Essa técnica, chamada **consorciação**, permite que duas espécies sejam cultivadas em uma mesma área, aumentando o rendimento e a fertilidade do solo.

Figura 8. (a) Cultura em terraceamento, em Mù Cang Chải, no nordeste do Vietnã, 2014. (b) Lavoura com quebra-vento, em Palmital (SP), 2010.



► Coivara: agricultura à moda indígena

Uma das mais antigas técnicas agrícolas — e ainda hoje usada por numerosas sociedades humanas — consiste na derrubada e posterior queima dos restos vegetais, visando à utilização do solo para a agricultura. Depois de um lote ter sido usado por alguns anos, o solo se esgota; então, os agricultores deslocam-se e repetem o procedimento em outra área.

Com o tempo, essas sociedades foram aprendendo que as áreas antes aproveitadas, quando abandonadas por períodos de 10 a 30 anos e reocupadas pela floresta, se tornavam novamente férteis e podiam ser reutilizadas para a agricultura. Essa técnica, que no Brasil é denominada **coivara**, permitiu a aplicação de uma agricultura sustentável nas florestas tropicais.

A alternância de queimada e derrubada só é sustentável se for executada em pequenos lotes de cada vez, cultivados por não mais que cinco anos e repousando por 10 a 30 anos; portanto, inadequada para atender às demandas da agricultura em escala comercial. A técnica permitiu que o solo fosse preservado ao longo de séculos.

Pragas agrícolas: estratégias de combate

Pragas são espécies de seres vivos (plantas, animais ou microrganismos, como bactérias e fungos) que, ao interagir com as populações humanas, competem por alimentos, invadem residências, transmitem doenças, destroem plantações e atacam os rebanhos.

As substâncias químicas destinadas ao controle desses organismos indesejáveis chamam-se **biocidas** (pesticidas, agrotóxicos ou defensivos agrícolas) e incluem grande variedade de produtos, como inseticidas, raticidas, fungicidas e herbicidas.

Os inseticidas químicos desenvolveram-se a partir de 1940. Após o DDT (diclorodifeniltricloroetano), surgiram muitos outros, sendo hoje amplamente empregados em todo o mundo. Por sua elevada toxicidade, o DDT teve a produção e a comercialização proibidas no Brasil.

Entre os benefícios relacionados ao uso de inseticidas, destacam-se os seguintes:

- **Combate aos vetores de doenças.** Em todo o mundo, devido aos inseticidas, são evitadas milhões de mortes anuais por malária, peste bubônica, tifo e doença do sono.
- **Aumento da oferta de alimentos.** De toda a produção mundial de alimentos, 30% são perdidos antes das colheitas e 20%, no armazenamento ou no transporte; os insetos respondem por mais de um terço desse desperdício. Acredita-se que, sem os inseticidas, a oferta mundial de alimentos seria reduzida à metade.

Um dos sérios problemas provocados pelo uso excessivo de inseticidas é a seleção de linhagens resistentes de insetos. Quantidades progressivamente maiores de produto passam a ser empregadas, aumentando os danos ambientais. Uma vez aplicados, os inseticidas movem-se com facilidade pelo ambiente (ar, água, solo e seres vivos), muitas vezes deslocando-se por longas distâncias.

► Alternativas de combate

Os pesticidas sintéticos também atuam sobre organismos não alvo (insetos polinizadores, aves e outros animais, inclusive seres humanos), contaminam o ar, o solo e as águas e selecionam linhagens de organismos resistentes. Além disso, intensifica-se a pressão de muitos consumidores por “produtos orgânicos”, livres de agentes químicos artificiais. Esses fatores têm estimulado o desenvolvimento de formas alternativas de controle de pragas.

- **Práticas de cultivo.** A rotação de culturas evita que, ano após ano, uma área seja cultivada com a mesma espécie vegetal, sujeita ao ataque de determinados insetos e outras pragas. O plantio de algumas espécies vegetais em fileiras, no meio da cultura, além de funcionar como quebra-vento, pode oferecer abrigo e alimento aos inimigos naturais das pragas.

Desde 1950, a quantidade de inseticidas usada em todo o mundo aumentou 30 vezes. Mais de 75% são usados em países desenvolvidos, embora o consumo nos países em desenvolvimento esteja aumentando.

A maioria dos inseticidas é absorvida pelos seres humanos através dos sistemas digestório e respiratório ou da pele. As pessoas que aplicam esses produtos devem se proteger com o uso adequado de máscara, luvas e roupas impermeáveis.

- **Melhoramento genético.** A seleção adequada de animais e de plantas permite a predominância, na cultura ou na criação animal, de indivíduos geneticamente resistentes às pragas habituais, reduzindo a necessidade de aplicação de produtos sintéticos. Com as modernas técnicas de engenharia genética, variedades resistentes têm sido desenvolvidas. Um exemplo é o milho geneticamente modificado (milho transgênico), portador de um gene que o torna resistente ao ataque de insetos, como a lagarta-do-cartucho (figura 9).
- **Ozônio.** A ozonização (como tem sido chamada a técnica) é uma alternativa que tem se mostrado promissora e consiste no tratamento com ozônio (O_3) dos grãos armazenados em depósitos hermeticamente fechados. Devido a seu elevado poder oxidante, o O_3 tem ação letal sobre insetos, sem deixar efeito residual, uma vez que se decompõe 25 a 30 minutos depois de aplicado.
- **Controle biológico.** Uma alternativa no combate às pragas é o uso de inimigos naturais (predadores, parasitas e competidores). Uma de suas vantagens é a especificidade: o agente biológico (chamado biopesticida) ataca uma espécie de praga (um inseto, por exemplo), poupando outras, até mesmo os insetos que atuam como polinizadores das plantações e que seriam igualmente mortos pelos inseticidas. Com isso, reduz-se o uso de pesticidas, evitando-se a contaminação de águas e alimentos. Na linha de produtos

biológicos, já são empregadas mais de 300 espécies de vírus, bactérias, fungos, protozoários e insetos. Os mais comercializados são os derivados de bactérias da espécie *Bacillus thuringiensis*, aplicados em numerosas plantações (milho, frutas, café, feijão, batata e trigo), e os baculovírus, usados no combate a pragas desde a década de 1940, principalmente contra a lagarta-rosada da soja e a lagarta-do-cartucho do milho. As lagartas ingerem esses vírus com as folhas e acabam morrendo. Os próprios agricultores podem produzir mais concentrados virais, triturando as lagartas infectadas e, posteriormente, aspergindo o material obtido sobre a plantação.



Figura 9. Lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*).

Biotecnologia: uma nova fronteira da agricultura

Atividades de campo são muito proveitosas. Visitas a centros de pesquisa, estações experimentais ou propriedades rurais bem conduzidas podem resultar em discussões de caso, análises de dados e elaboração de relatórios. Explore as mídias disponíveis, com a produção de painéis fotográficos, vídeos e entrevistas.

Segundo as estimativas do Serviço Internacional para a Aquisição de Aplicações Biotecnológicas Agrícolas (na sigla em inglês, ISAAA), a área cultivada com plantas transgênicas tem aumentado rapidamente, principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, que foi o segundo país com maior expansão no período 2013-2014, atrás apenas dos Estados Unidos.

No mundo, a lavoura de soja transgênica é a principal cultura geneticamente modificada, seguida pelo milho, algodão e canola.

Vantagens dos organismos geneticamente modificados (OGMs)

- **Redução do uso de agroquímicos.** Algumas variedades de OGMs resistem ao ataque de insetos, reduzindo-se a necessidade do uso de inseticidas.
- **Redução de custos de produção.** A menor necessidade do uso de agroquímicos vem acompanhada da redução dos gastos com implementos agrícolas, combustíveis e mão de obra.

- **Tolerância a condições ambientais adversas.** Alguns tipos de OGMs resistem a ambientes hostis para as variedades convencionais, como longos períodos de seca, solos ácidos ou com excesso de salinidade e de metais pesados.
- **Aumento do valor nutritivo.** Algumas variedades transgênicas já estão sendo desenvolvidas com essa finalidade. É o caso de uma variedade de arroz (chamado arroz dourado) com maior teor de betacaroteno, um precursor da vitamina A.
- **Elevação da produtividade.** Estima-se que, em média, as plantas transgênicas sejam até 3% mais produtivas que as variedades convencionais. Essa elevação é pequena e, habitualmente, não representa um fator decisivo na escolha.

▶ OGMs na agricultura

A biotecnologia e as técnicas de manipulação genética têm desenvolvido, principalmente, variedades de plantas resistentes a insetos ou a herbicidas. Buscam, ainda, variedades de plantas resistentes a geadas, acidez do solo, escassez de água, entre outros melhoramentos.

Outras variedades também têm sido testadas:

- cana-de-açúcar e soja, das quais são extraídas resinas capazes de substituir o plástico, com a vantagem de serem biodegradáveis;
- café descafeinado;
- frutos que têm melhor sabor, amadurecem mais lentamente (sem amolecer) e resistem mais tempo sem refrigeração;
- milho e soja mais ricos em proteínas;
- algodão com as fibras já coloridas (como a variedade índigo, com fibras naturalmente azuladas);
- arroz enriquecido em ferro;
- plantas (como a banana e a batata) com antígenos que funcionam como vacinas comestíveis contra doenças infantis, substituindo as injeções.

É possível encontrar as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) a respeito dos alimentos geneticamente modificados no endereço eletrônico: <<http://tub.im/68fon2>>, em inglês, acesso em: maio 2016.

▶ Milho Bt

As lavouras de milho sofrem o ataque de numerosas espécies de pragas agrícolas, como a lagarta-do-cartucho e a broca. Em geral, recebem doses maciças de defensivos agrícolas, principalmente inseticidas.

A variedade geneticamente modificada (conhecida como milho Bt) recebeu da bactéria da espécie *Bacillus thuringiensis* (daí a sigla Bt) o gene que determina a produção de uma toxina que mata lagartas de inseto, mas não causa dano ao ser humano. O milho Bt torna-se particularmente resistente ao ataque da lagarta-do-cartucho e da broca.

▶ Soja resistente ao glifosato

As lavouras de soja recebem quantidades elevadas de herbicidas durante a pré-emergência, ou seja, logo depois do plantio, quando ainda não se completou a germinação da semente. Se as lavouras receberem herbicidas do grupo do glifosato, as plantas acabam morrendo. A soja transgênica é tolerante ao glifosato, porque possui um gene (obtido de uma bactéria) que determina a produção de uma enzima capaz de tornar inócuo o herbicida.

Paradoxalmente, em vez da redução do uso de herbicidas, o que se tem verificado é o contrário. Sabendo da resistência das plantas ao glifosato, agricultores têm gastado de 10% a 40% mais herbicida nas lavouras de soja transgênica.

Como a soja resiste ao glifosato, o herbicida pode ser aplicado em qualquer período da cultura. Por isso, em tese, não seriam necessárias as aplicações maciças de herbicidas na pré-emergência: bastaria que os produtores aplicassem nos locais onde surgissem plantas invasoras.

▶ Quais são os inconvenientes dos OGMs?

- **Alteração de palatabilidade e/ou aroma.** As mudanças genéticas podem, em tese, alterar o sabor e/ou o cheiro das plantas, fazendo com que se alterem as relações entre elas e seus predadores ou polinizadores.
- **Morte de espécies não alvo.** As plantas que recebem genes que determinam a produção de toxinas, tornando-se inseticidas, podem provocar a morte de espécies que não são seus parasitas ou predadores.

Com relação aos organismos geneticamente modificados, duas questões que podem gerar polêmica são o uso dessas variedades na alimentação humana e a rotulagem de produtos. Forneça materiais e fontes de pesquisa e promova um debate sobre os temas.

Figura 10. Os ambientalistas dizem que a preocupação das transnacionais com o lucro está massacrando os agricultores (principalmente nos países pobres), sem levar em conta os potenciais riscos dos OGMs ao meio ambiente e à saúde humana. Na fotografia, ativistas manifestando contra o fim da regulamentação dos alimentos transgênicos, em Belo Horizonte (MG), 2014.

- **Morte de polinizadores.** Entre as espécies não alvo atingidas pelas plantas transgênicas, podem estar as de insetos polinizadores, o que afetaria a reprodução da própria planta.
- **Comprometimento da fixação de nitrogênio.** Embora existam suspeitas, ainda não são completamente claros os efeitos da transgenia sobre as bactérias fixadoras de nitrogênio que vivem em nódulos de leguminosas, como a soja.
- **Dependência de um ou poucos fornecedores.** No mundo todo, são as grandes empresas transnacionais (**figura 10**) que possuem tecnologia para o desenvolvimento de variedades transgênicas e, em geral, são as mesmas que produzem os defensivos agrícolas contra os quais essas variedades são resistentes. Assim, o produtor rural tem poucas opções no momento de decidir pela compra de sementes transgênicas. Um caso evidente é o da soja transgênica e do herbicida glifosato, ambos produzidos pelas mesmas empresas.
- **Terminator technology.** Trata-se da inclusão, nas plantas geneticamente modificadas, de genes que determinam a esterilidade dos descendentes. Portanto, o agricultor não pode reservar parte da colheita para plantar a safra seguinte, pois as plantas que nascem são estéreis e não produzirão sementes. Ano após ano, os agricultores precisam comprar mais sementes, aumentando o grau de dependência em relação às grandes empresas.
- **A questão das patentes.** Outro motivo de polêmica é o alegado direito de as empresas registrarem a patente das variedades de OGMs que conseguem obter, o que pode encarecer o preço dos alimentos e de outros produtos, restringindo seu acesso pela população.
- **Reações alérgicas.** Já foram demonstradas reações alérgicas em pessoas que ingeriram alimentos processados com plantas geneticamente modificadas, como a soja.
- **Alteração imunológica.** Trata-se de uma questão ainda bastante polêmica. Pesquisadores noticiaram ter encontrado deficiência das defesas orgânicas contra infecções em ratos alimentados com batata transgênica.
- **Transmissão horizontal.** Em plantas, já se demonstrou que pode ocorrer transferência de fragmentos de material genético de uma planta de uma espécie para plantas de espécies diferentes. Essa transferência (chamada transmissão horizontal) geralmente envolve a participação de um vetor, como um vírus ou um plasmídeo (DNA extracromossômico presente em bactérias e outros microrganismos).

DIGA NÃO AO FIM DA ROTULAGEM DOS
TRANSGÊNICOS. TEMOS O DIREITO DE
ESCOLHER O QUE COMER E BEBER.

NÃO SOMOS COBAIAS. FORA TRANSGÊNICOS.

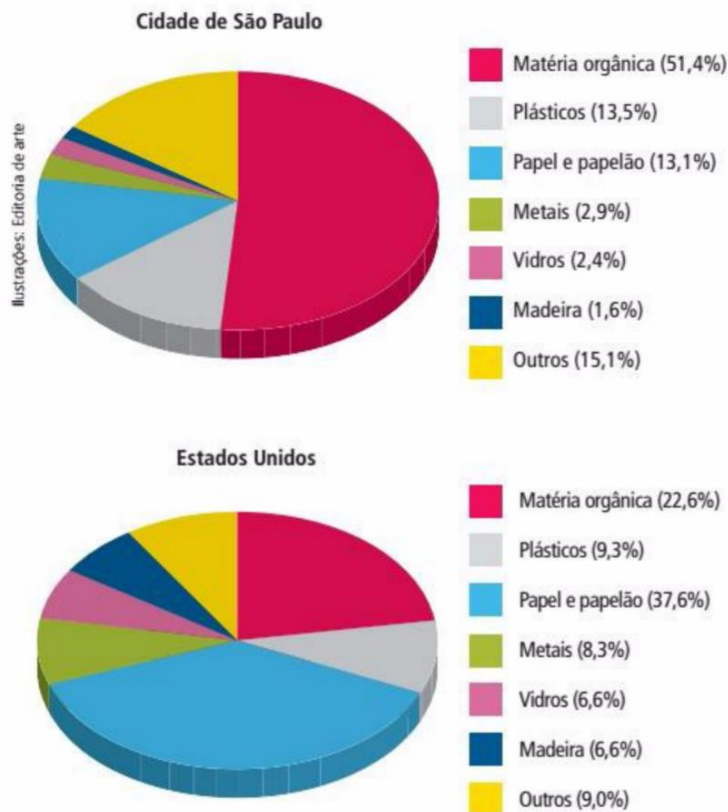
PARA OS POBRES DO MUNDO, VENENOS E
TRANSGÊNICOS, PARA OS RICOS, ORGÂNICOS.

MARCHA FORA TRANSGÊNICOS e AGROTOXICOS



Resíduos sólidos e civilização

Os resíduos sólidos domésticos são um subproduto do consumo de bens duráveis e não duráveis. Em geral, quanto maior é o PIB *per capita* de um país, maior é a quantidade de resíduo sólido gerada pelas residências e indústrias. No Brasil, cada pessoa origina uma média diária de 1,252 kg de resíduo sólido doméstico; nos Estados Unidos, essa média chega a 2,8 kg (**figura 11**).



Fonte: Diagnóstico de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: IPEA, 2012.

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a política nacional de resíduos sólidos, define que qualquer material descartado, que não pode ser lançado no esgoto ou em corpos de água, incluindo materiais reutilizáveis ou recicláveis, é chamado de resíduo sólido e deve ter uma destinação adequada, para que não polua o ecossistema. Por ser um termo mais abrangente e que está de acordo com as propostas de destinação e tratamento de material descartado, utiliza-se referencialmente o termo resíduo sólido em vez de lixo.

Figura 11. Composição do resíduo sólido urbano na cidade de São Paulo e nos Estados Unidos.

Entre os resíduos das atividades industriais, há numerosas substâncias que podem causar dano ambiental e à saúde. Os resíduos hospitalares, por sua própria natureza, são tóxicos e exigem cuidados especiais de armazenamento. O **resíduo radioativo**, por sua vez, é um subproduto da geração de energia em usinas nucleares e deve ser isolado do ambiente por centenas ou milhares de anos.



Explore a charge, discutindo com os alunos algumas questões: Qual é o sentido de humor da charge? Os alunos percebem a contradição dos termos, que gera ironia? Por que os extraterrestres não entrariam em contato conosco?

Figura 12. As reflexões sobre o uso excessivo dos recursos, os resíduos produzidos, sua destinação e processamento, bem como sobre as consequências do acúmulo na natureza, exigem atitudes coletivas mais responsáveis.

▶ Coleta e destinação de resíduos sólidos

No Brasil, são geradas 240 mil toneladas de resíduos sólidos por dia. Segundo o IBGE (dados de 2014), cerca de 10% dos domicílios não dispõem de coleta regular (**tabela 1**), de modo que o resíduo produzido é queimado ou enterrado, despejado em terreno baldio ou jogado no ambiente.



Figura 13. Na maior parte dos países em desenvolvimento, a coleta de resíduos sólidos atinge pouco mais de 50% da população.

Alexandre Tokitaka/Pulbar

Tabela 1. Coleta de resíduos sólidos em domicílios brasileiros por região

Região	Domicílios com coleta de resíduos sólidos
Total do país	89,8%
Norte	79,1%
Nordeste	79,0%
Sudeste	96,2%
Sul	96,1%
Centro-Oeste	92,6%

Fonte: IBGE (PNAD, 2014). Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: mar. 2016.

No passado, multiplicavam-se na periferia das cidades os lixões, depósitos de resíduos sólidos a céu aberto. Nos países desenvolvidos, os lixões foram fechados; entretanto, ainda são comuns nos países em desenvolvimento. No Brasil, por exemplo, milhares de pessoas vivem da coleta e da venda de materiais encontrados em lixões (**figura 14**).

Os lixões são locais propícios à procriação de insetos, muitos dos quais transmissores de doenças (como a amebíase e a giardíase, que podem ser veiculadas por moscas e baratas). Roedores, que também proliferam nos lixões, estão associados à propagação de enfermidades infecciosas, como a leptospirose. Além da poluição do ar, os lixões — instalados em locais sem nenhum tipo de impermeabilização — representam sério risco de comprometimento do solo e das águas, tanto as superficiais como as subterrâneas. Embora o Brasil colete a maior parte do resíduo sólido produzido, quase 90% dele não recebe destinação apropriada. A **tabela 2**, que compara dados de três países, refere-se apenas à parcela do resíduo sólido coletado e adequadamente processado.

Tabela 2. Destinação do resíduo sólido coletado no Brasil, nos Estados Unidos e no Japão

	Brasil	EUA	Japão
Aterro sanitário	97,7%	73%	16%
Incineração	0,1%	14%	34%
Reciclagem	1,4%	12%	50%
Compostagem	0,8%	1%	—

Fontes: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2012**. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em: mar. 2016. World Wildlife Fund. Disponível em: <www.wwf.org.br>. Acesso em: mar. 2016.

Ludiana Whitaker/Pulbar



Figura 14. Nos lixões dos países em desenvolvimento, milhares de catadores trabalham em condições precárias e insalubres para sustentar suas famílias.

► Aterros sanitários

Para a construção de um aterro sanitário (**figura 15**), impermeabiliza-se o terreno e, sobre a camada impermeável, começam a se acumular os resíduos sólidos. A cada dia, o resíduo sólido coletado é depositado, coberto por uma camada de terra com 15 cm a 30 cm de espessura e compactado firmemente por tratores, evitando-se a entrada e a permanência de ar. O material deve permanecer sem contato com o oxigênio, permitindo a ação apenas de bactérias anaeróbias. Novas camadas vão sendo dispostas umas sobre as outras, até que o aterro atinja sua capacidade máxima.

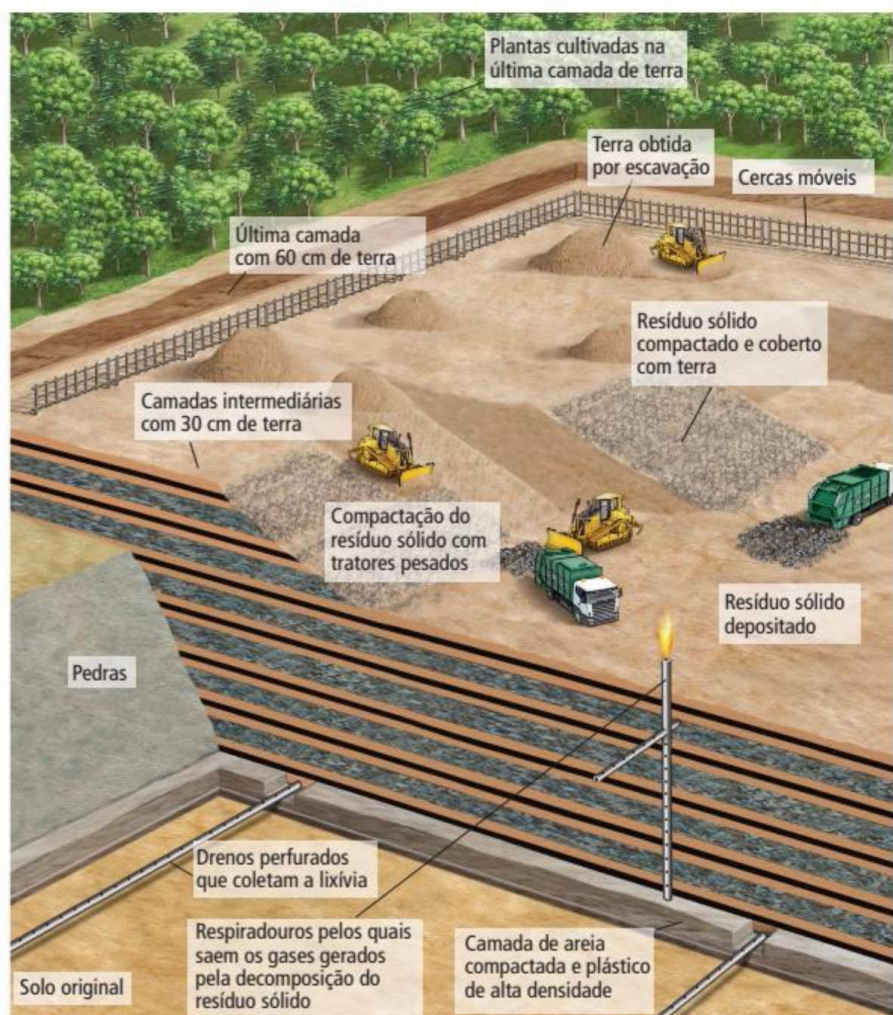
Em muitas cidades, os lixões vêm sendo substituídos por aterros sanitários, construídos de acordo com técnicas que reduzem seu impacto ambiental. Além dos aterros, há outras alternativas para a destinação final dos resíduos, como a incineração e o reprocessamento (compostagem, seleção e reciclagem).

Aterros sanitários liberam, para a atmosfera, grande quantidade de uma mistura gasosa formada por metano (48%), gás carbônico (47%) e menores quantidades de outros gases (nitrogênio, oxigênio, hidrocarbonetos aromáticos, hidrogênio e monóxido de carbono).

O metano é inflamável e pode acumular-se em bolsões, nos aterros, provocando incêndios e explosões. Através de respiradouros, é liberado continuamente para a atmosfera, evitando-se o depósito sob as camadas de resíduos. Isso diminui os riscos, mas aumenta a poluição do ar, além de contribuir para a rarefação da camada de ozônio e para a acentuação do efeito estufa. Em alguns aterros sanitários, o metano, coletado e canalizado, é empregado como combustível domiciliar ou na geração de energia elétrica.

A **lixívia** (ou chorume) é um líquido malcheiroso, rico em microrganismos patogênicos e produtos potencialmente tóxicos, que escorre do material acumulado e pode atingir córregos, lagos e oceanos. Se as obras de impermeabilização não forem adequadas, as águas subterrâneas poderão ser comprometidas.

Figura 15. Representação esquemática, e em corte, de aterro sanitário em uso, com as camadas de resíduos sólidos e de terra sobrepostas e sendo compactadas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



► Incineração

Os incineradores queimam os resíduos sólidos a temperaturas altíssimas, reduzindo seu volume em até 90%. Além disso, o calor liberado na queima pode ser empregado em caldeiras, cujo vapor movimenta turbinas e permite a geração de energia elétrica. Para aumentar a eficiência da incineração, os resíduos sólidos devem ser previamente separados. Papéis, plásticos, madeiras, borrachas e resíduos da compostagem são os melhores materiais para incineração. O maior problema ambiental decorrente da incineração de resíduos sólidos é a poluição do ar, por causa da liberação de monóxido de carbono, gás carbônico, material particulado, ácidos, metais pesados, dioxinas e outros poluentes.

► Compostagem

É a transformação em adubo de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos, como restos de alimentos e de vegetais (folhas, galhos etc.), e resulta da ação de invertebrados (minhocas e insetos) e microrganismos (bactérias e fungos). A matéria orgânica deve ser mantida úmida, em presença do ar e continuamente revolvida, para que o oxigênio torne a decomposição biológica mais rápida, convertendo essa matéria em um composto que pode ser usado como fertilizante. O processo todo se completa de 30 a 60 dias e, desde que executado corretamente, não atrai moscas, baratas nem roedores. Para facilitar a compostagem, os materiais não biodegradáveis (plásticos, vidros e metais, principalmente) devem ser antes removidos dos resíduos sólidos.

A construção de uma composteira é uma alternativa de destinação para os resíduos sólidos produzidos em casa ou na escola, além de propiciar aprendizado efetivo sobre sustentabilidade, preservação e economia. Alguns portais na internet trazem orientação para construção de composteiras. Alguns exemplos estão disponíveis em: <<http://tub.im/mepe9d>> e <<http://tub.im/t3d8k3>>. Acessos em: mar. 2016.

► Reciclagem

Todos os métodos de tratamento de resíduos sólidos acarretam algum dano ambiental. Diante das perspectivas de esgotamento dos aterros e das dificuldades associadas à incineração, as medidas de controle dos resíduos urbanos apontam para três estratégias: reduzir, reutilizar e reciclar.

A alternativa mais eficaz consiste em simplesmente reduzir os níveis globais de consumo, diminuindo-se a quantidade de produtos usados e descartados. Consumindo-se menos, menor quantidade de resíduos será gerada. A reciclagem poupa recursos naturais, economiza energia, auxilia a reduzir a poluição atmosférica e cria empregos (**tabela 3**). Grande parte do resíduo sólido contém materiais que podem ser reciclados, ou seja, transformados em algo útil. Acredita-se que o Brasil perca anualmente mais de US\$ 4 bilhões por não reciclar como deveria seu resíduo domiciliar.

Nos locais em que há coleta seletiva (**figura 16**), o resíduo sólido útil deve ser separado do lixo comum, em cada casa, e encaminhado a usinas de processamento, onde se faz a seleção e o empacotamento, podendo depois ser vendido para indústrias, que poderão reutilizá-lo.

Tabela 3. Estimativa dos benefícios ambientais da reciclagem

	Papel	Alumínio	Ferro e aço	Vidro
Redução da poluição do ar	75%	95%	85%	20%
Redução de resíduos sólidos	100%	100%	95%	80%
Redução do consumo de energia (eletricidade e derivados do petróleo)	50%	95%	70%	20%
Redução do consumo de água	60%	5%	40%	50%

Fonte: Cadernos de Educação Ambiental: resíduos sólidos. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2010.

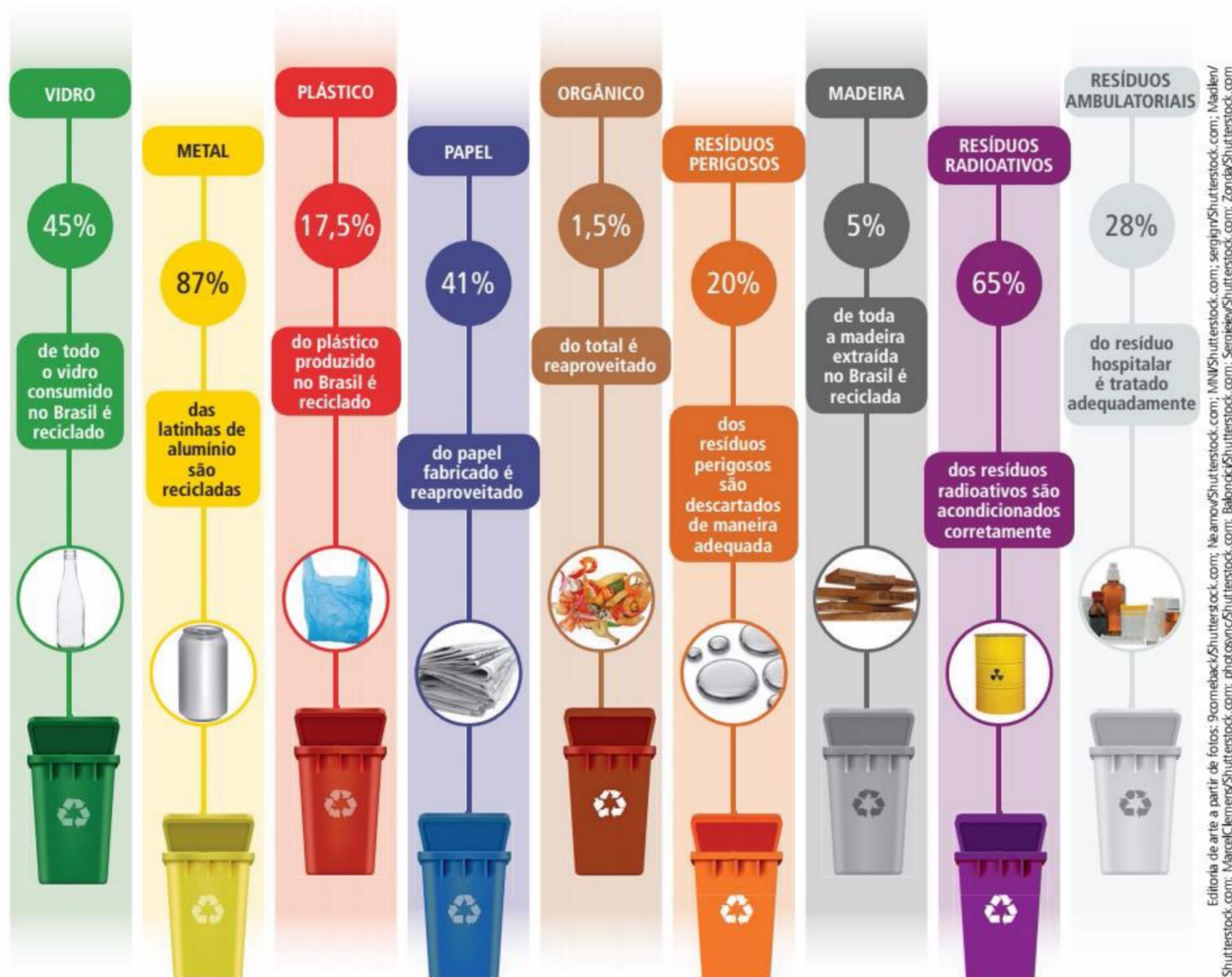


Figura 16. Panorama da coleta seletiva no Brasil.

Fonte dos dados: Diagnóstico do Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

Reciclar não é o mesmo que reutilizar. Ao ser reciclado, um produto é separado, limpo, triturado, fundido, reprocessado e serve de matéria-prima para a fabricação de outro produto. Uma garrafa PET, por exemplo, pode converter-se em uma camiseta. Reutilizar implica tratar um produto ou objeto para que ele readquirir sua destinação original ou cumpra outra finalidade. É o caso de uma garrafa PET de refrigerante que, depois de ter seu conteúdo consumido, pode ser usada para conservar água na geladeira.

► Como morar sem poluir

MORAR SEM POLUIR

Casa ecológica

As ecovilas se desenvolvem no Brasil e no mundo com técnicas alternativas de arquitetura, agricultura e reciclagem. Esta “casa modelo”, por exemplo, se integra ao ecossistema a seu redor.

RECOLHIMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

Um telhado de 100 metros quadrados, em um lugar com índice pluviométrico anual de 1 000 mm, consegue captar 100 mil litros de água a cada ano. Filtrada, ela pode ser usada para lavar roupa, tomar banho, irrigar o jardim, dar descarga.

TETO VERDE

Além de ajudar a reter água, ele regula a temperatura e diminui o efeito da erosão. A laje deve ser impermeável.

COLETA SELETIVA DE RESÍDUO SÓLIDO

São Paulo gera 9 toneladas diárias apenas de lixo domiciliar. Nas ecovilas, a produção é quase nula – a reciclagem permite criar novos materiais e a parte orgânica alimenta as galinhas e vira adubo.

BANHEIRO SECO

Como não usa água, é preciso cobrir as fezes com serragem. Armazenado e tratado, o composto vira húmus, depois reaproveitado nas plantações.

CATA-VENTO E PLACAS SOLARES:

Fontes de energia renovável não emitem poluentes e têm custo zero na conta do fim do mês.

ALIMENTOS ORGÂNICOS

São produzidos sem agrotóxicos.

BICICLETA

Evita a emissão de gás carbônico.

PAREDES

Adobe, pau a pique e bambu, por exemplo, são materiais retirados do próprio terreno, e que constroem paredes resistentes como as de alvenaria.

ESTÇÃO DE TRATAMENTO

A água residual dos banheiros passa por tratamento em contato com bactérias nas fases aeróbia e anaeróbia. E então está pronta para ser utilizada no crescimento de árvores frutíferas, por exemplo.

Infográfico: Rubens Paiva/AE

Figura 17. Representação de algumas ações que podem reduzir os impactos ambientais causados pelos seres humanos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A opção pela energia nuclear

No dia 11 de março de 2011, a região de Tohoku, no Japão, foi violentamente sacudida por um terremoto seguido por um *tsunami* devastador. A conjunção desses acidentes afetou a usina termonuclear de Fukushima, provocando vazamento de material radioativo e contaminação do ambiente.

O acidente de Fukushima aqueceu a polêmica sobre a segurança dos reatores nucleares e reavivou a memória de outros episódios, como o acidente de Three Miles Island (nos Estados Unidos, em 1979) e o de Chernobyl (na Ucrânia, em 1986).

Depois de Chernobyl, o desenvolvimento do programa nuclear civil para fins energéticos estacionou em quase todo o mundo. Após o acidente no Japão, diversos países, como Suíça, Alemanha e França, interromperam investimentos e expansões no setor. Nos dias de hoje, estão em operação, ao redor do mundo, cerca de 210 usinas nucleares em 31 países, com aproximadamente 440 reatores (**figura 18**). Apesar dos vários movimentos em busca da interrupção da construção de usinas nucleares, ainda há 68 novos reatores em construção em 15 diferentes países no mundo, evidenciando que essas centrais ainda serão responsáveis por grande parte da energia elétrica gerada no globo (**figura 19**).

Além de serem combustíveis das usinas nucleares, os isótopos radioativos têm diversas outras aplicações: são usados em aparelhos para tratamento de câncer, em diagnóstico, esterilização de instrumental e de alimentos etc.

Número de reatores nucleares em operação



Thomas Rezende/Abril Comunicações S/A

EUA	99	Reino Unido	16	Suíça	5	Bulgária	2
França	58	Ucrânia	15	Eslováquia	4	México	2
Japão	48	Suécia	10	Finlândia	4	Romênia	2
Rússia	34	Alemanha	9	Hungria	4	Armênia	1
China	24	Bélgica	7	Paquistão	3	Eslovênia	1
Coreia do Sul	24	Espanha	7	Argentina	3	Irã	1
Índia	21	República Tcheca	6	África do Sul	2	Países Baixos	1
Canadá	19	Taiwan	6	Brasil	2		

Figura 18. Reatores nucleares em operação. (Mapa meramente ilustrativo.)

440 reatores nucleares em operação
68 reatores nucleares em construção

2 reatores nucleares fechados por longo tempo
378 220 MW (megawatts) de capacidade total instalada

Dependência de energia nuclear em alguns países

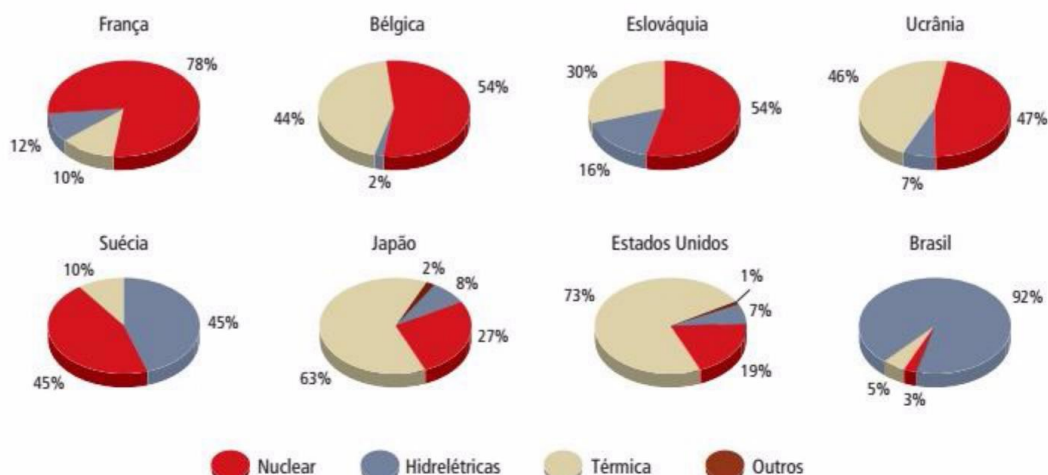


Figura 19. Dependência de energia nuclear em alguns países, em porcentagem de produção total de eletricidade.

Gráficos: Editora de arte

Fontes (figuras 18 e 19): Agência Internacional de Energia Atômica (Aiea). Veja, 23 mar. 2011/Power Reactor Information System. Disponível em: <<https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>>. Acesso em: mar. 2016.

▶ Contaminações com material radioativo

Certas moléculas orgânicas, principalmente as de DNA (ácido desoxirribonucleico), podem ser lesadas pelas radiações, sofrendo perda ou substituição de segmentos e propiciando o desenvolvimento de alterações genéticas, chamadas mutações. Afetando as células que formam os gametas, essas mutações podem ser transmitidas geneticamente.

Problemas fetais, como malformações, deficiências mentais, formas congênitas de câncer e doenças genéticas, podem ser causados pela exposição materna a radiações. Doenças cardíacas e neurológicas, catarata, hemorragias e diversas formas de câncer (leucemias, câncer de tireoide, pele, pulmões, mama etc.) também têm sido associadas à exposição a radiações.

Um dos problemas da contaminação por substâncias radioativas é que, mesmo em baixas concentrações, podem causar danos, particularmente em certos tecidos. O isótopo radioativo iodo-131, por exemplo, pode se acumular no solo e na vegetação, atingindo as pessoas pelo leite ou pela carne bovina. Esse isótopo incorpora-se rapidamente à glândula tireoide, podendo causar câncer.

Se o fluxo da água de arrefecimento de uma usina nuclear for interrompido ou se não forem trocadas oportunamente as barras de grafite que impedem a aceleração excessiva da reação, o núcleo do reator se aquecerá rapidamente, podendo destruir a estrutura metálica e permitir a saída de combustível nuclear, que contaminará o ambiente.

O mais grave acidente com um reator de usina nuclear aconteceu em Chernobyl, na Ucrânia, então república da antiga União Soviética. Em abril de 1986, durante um teste, a fissão nuclear intensificou-se a ponto de acarretar o superaquecimento do reator, provocando a explosão do circuito de arrefecimento (onde circula água). Grande quantidade de radiação escapou para o ambiente. Labaredas ergueram-se a mais de trinta metros de altura, liberando uma nuvem de material radioativo que, com o vento, rapidamente se espalhou.

Cerca de 2,5 mil pessoas morreram contaminadas em semanas ou meses. O governo da Ucrânia já admitiu a morte de mais de 8 mil pessoas nos anos que se seguiram ao acidente. Milhões de moradores tiveram de deixar suas casas, em um raio de 300 km da usina. Levada pelas correntes de ar, a radiação espalhou-se, contaminando pastagens, carnes e laticínios.

Em 1987, na cidade de Goiânia (GO), uma cápsula de césio-137, isótopo radioativo empregado em aparelhos de radioterapia, foi abandonada de maneira irregular. Encontrada por coletores de sucata, foi aberta e manuseada por várias pessoas. Em consequência, quatro delas morreram e dezenas continuaram sofrendo os efeitos da contaminação radioativa.

O desastre nuclear de 2011, na usina de Fukushima (figura 20), decorreu da falência estrutural catastrófica de um dos sistemas de resfriamento e do consequente vazamento de materiais radioativos.

A experiência dos japoneses é importante para todo o planeta, mais especificamente para os países que também têm usinas nucleares, na questão da segurança de funcionamento dessas centrais. Segundo as autoridades, não se trata de algo parecido com Chernobyl, em relação às consequências para a população e o meio ambiente, mas é um acidente que precisa ser estudado no que se refere à segurança de funcionamento dessas usinas em situações de emergência ou de desastres ambientais nos quais a natureza se coloca acima das previsões e das ações humanas.



Figura 20. Imagem de satélite mostra a central termonuclear de Fukushima (Japão), envolta por fumaça, depois da explosão decorrente do terremoto e do tsunami, em março de 2011.

A notícia

Lições de Fukushima: especialistas questionam se reação foi exagerada

[...] o acidente nuclear em Fukushima, no Japão, levou a uma grande evacuação, inclusive de pacientes internados em hospitais.

Agora, os especialistas passam a se questionar: será que era mesmo o caso?

No último mês, a Agência Internacional de Energia Atômica apontou que, até agora, ninguém morreu ou mesmo ficou doente por causa da radiação emitida no episódio.

Mesmo entre os trabalhadores da usina, os dados têm indicado que não haverá casos de câncer além do normal, embora seja preciso aguardar mais anos para ter certeza.

O esforço de evacuação, porém, deixou 1 600 mortos.

Um pequeno encontro científico em Tóquio discutiu o assunto recentemente.

“O governo basicamente entrou em pânico”, disse o oncologista Mohan Doss, que participou do evento.

“Quando você evacua uma unidade de tratamento intensivo, você não pode simplesmente levar os pacientes a uma escola e esperar que eles sobrevivam.”

O nível de radiação, dizem os cientistas, não era tão elevado a ponto de justificar tais medidas. Houve várias vítimas fatais também entre pacientes

de asilos, cuja fragilidade dificultou sua evacuação.

O problema é que era difícil saber a priori que a radiação seria em boa medida levada pelo vento em direção ao mar. Os habitantes com maior exposição teriam encarado 70 milisieverts de radiação, valor não muito maior do que o de uma tomografia de alta resolução de corpo inteiro ao ano desde o acidente.

A maior parte dos moradores, porém, não deve ter recebido mais do que 4 milisieverts — a exposição natural de radiação ao livre, na terra, é de 2,4 milisieverts por ano.

[...]

Um sievert equivale a um joule (unidade de energia) de radiação absorvida por quilograma de matéria.

Lições de Fukushima: especialistas questionam se reação foi exagerada. **Folha de S.Paulo**, 23 set. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2015/09/1685204-licoes-de-fukushima-especialistas-questionam-se-reacao-foi-exagerada.shtml>>. Acesso em: mar. 2016.

Atividade

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia, julgue verdadeiras (V) ou falsas (F) as afirmativas:

- ✓ I. Aparentemente, as medidas tomadas pelo governo japonês no caso de Fukushima foram excessivas.
- ✓ II. Houve aumento significativo do número de casos de câncer depois do acidente nuclear de Fukushima.
- ✓ III. Ainda é cedo para afirmar, com certeza, que os casos de doenças associadas à exposição radioativa permanecem dentro de limites aceitáveis.
- ✓ IV. As medidas de evacuação afetaram, principalmente, pacientes hospitalizados e idosos abrigados em asilos.

1. Desde a sua formação, os solos estão em constantes mudanças causadas por processos naturais ou pela ação antrópica.
 - a) Qual é o processo provocado pela ação das chuvas que causa o empobrecimento de nutrientes e aumenta a acidez dos solos?
 - b) Um velho provérbio chinês diz: “Não proteja apenas os rios; proteja também as montanhas”. Justifique-o, levando em conta os efeitos da erosão, do assoreamento e da lixiviação.
2. (Unicamp-SP) Johanna Döbereiner é uma agrônoma cujas pesquisas no Brasil com bactérias associadas a plantas resultaram em uma economia de milhões de reais devido à redução na quantidade de adubo utilizada na última safra de soja.
 - a) Qual o nutriente que está sendo suprido por essas bactérias?
 - b) Considerando o ciclo desse nutriente, explique como ele retorna à atmosfera.
 - c) Em que órgão da planta ocorre a associação com bactérias?
3. Com a publicação do livro **Primavera silenciosa**, a pesquisadora norte-americana Rachel Carson fez as pessoas se darem conta de que pesticidas químicos e outros poluentes se dispersam pelo ambiente. Tomadas, a princípio, mais como ficção do que como realidade, as previsões de Carson somente se tornaram uma dura verdade quando aves carnívoras começaram a se tornar vítimas do DDT. Por outro lado, com a proibição do uso desse inseticida nos Estados Unidos, águias e falcões iniciaram uma gradual recuperação do número de indivíduos.
 - a) Explique por que as aves carnívoras – como águias e falcões – foram as primeiras vítimas detectadas da contaminação ambiental com o DDT.
 - b) A partir da década de 1970, passaram a ser detectados resíduos de DDT em tecidos de focas e leões-marinhos que viviam na Antártida, região da Terra onde ele nunca foi usado. Elabore uma hipótese que explique como essa substância pode ter alcançado locais tão distantes.
4. (Cederj-RJ) Os meios de comunicação têm apresentado uma propaganda referindo-se ao meio ambiente, na qual há a seguinte frase: “Onde muita gente vê uma lata de lixo, a gente enxerga um novo produto”.
 - a) Identifique o destino que o anúncio propõe para o “lixo”.
 - b) Identifique os organismos que se encarregam desse procedimento na natureza.
5. Um dos grandes desafios ecológicos das metrópoles de todo o mundo é a destinação final dos resíduos sólidos (doméstico, hospitalar e industrial). Aterros sanitários e incineradores — as alternativas usuais — acarretam problemas ambientais. Por outro lado, as soluções mais racionais — que envolvem mudanças nos padrões de produção e de consumo de bens e cuja finalidade é reduzir a produção dos resíduos sólidos — dependem de mudanças culturais e de comportamento, inatingíveis em prazos muito curtos. Sobre essa questão, responda:
 - a) Quais são os principais problemas causados pelos aterros sanitários e pelos incineradores?
 - b) Como se podem relacionar os atuais padrões de produção e de consumo à grande quantidade de lixo domiciliar produzido nas grandes cidades brasileiras?

6. (UFRJ) O poli-hidroxibutirato e o poli-hidroxivalerato são biopolímeros. Essas macromoléculas possuem muitas características físicas dos polímeros sintéticos usados atualmente na fabricação de embalagens. Apesar de os polímeros sintéticos serem de fabricação mais barata, há interesse em substituí-los pelos biopolímeros. Explique a razão desse interesse.
7. As usinas nucleares são importantes fontes geradoras de energia, mas produzem resíduos que podem trazer problemas ambientais.
 - a) Cite algumas potenciais vantagens do uso da energia nuclear.
 - b) Por que os resíduos nucleares representam um sério problema ao meio ambiente e aos seres vivos?



Maurício Simonetti/Pulgar

As usinas nucleares existentes no Brasil estão instaladas em Angra dos Reis (RJ).

8. (UFU-MG) Desde o advento da Revolução Industrial, a quantidade de gás carbônico na atmosfera vem aumentando significativamente, em decorrência da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral e petróleo) para a produção de energia. O aumento desse gás, além de outros fatores, intensifica ainda mais o efeito estufa. Outro problema vivenciado hoje, principalmente nas cidades, é a produção excessiva de lixo, tanto de materiais que poderiam ser reaproveitados e/ou reciclados, como de restos orgânicos. Essa situação interfere na diminuição da vida útil dos lixões e aterros sanitários, quando eles existem, e impõe a necessidade constante de construção de novos lugares para armazenamento do lixo.
 - a) Explique como o efeito estufa pode alterar as condições climáticas mundiais, ressaltando duas possíveis consequências catastróficas.
 - b) Considerando o processo de decomposição e a possibilidade de a população reduzir a quantidade de lixo orgânico produzida e acumulada nos lixões ou aterros sanitários das cidades, uma alternativa para o destino desse tipo de lixo é a realização da compostagem. Explique em que consiste esse processo.

Como tornar a agricultura brasileira sustentável?

Texto 1

A opinião dos movimentos sociais

João Pedro Stédile, da coordenação nacional do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST).

Está em curso um novo modelo agrícola, que muitos técnicos e acadêmicos estão chamando de modelo norte-americano de agricultura aplicado no Brasil, resultado da subordinação da nossa economia ao capital internacional. Em síntese, com esse modelo estimula-se a modernização das grandes fazendas, que, através da monocultura, vão produzir grãos mais baratos e outros produtos para a exportação. Desnacionaliza-se e oligopoliza-se a agroindústria brasileira, que passa a ser controlada cada vez mais por alguns grupos econômicos transnacionais. Entrega-se o controle do comércio agrícola, sobretudo de grãos, para empresas transnacionais. Introduce-se um processo de seletividade dos pequenos agricultores, inviabilizando a pequena agricultura. Retira-se o setor público da agricultura, com tudo o que poderia representar de apoio, como crédito, assistência técnica, controle de preços, armazenagem e pesquisa. Também está em curso a transição para um novo modelo tecnológico, baseado agora não no uso intensivo de insumos industriais, mas na biotecnologia. Com o detalhe de que a biotecnologia agora é controlada também por empresas transnacionais. A empresa pública de pesquisa, a Embrapa, foi marginalizada ou obrigada a servir de suporte às multinacionais.

O resultado desse modelo já se sabe, pelas experiências de outros países e pelo que vem ocorrendo em nossa agricultura. Do ponto de vista produtivo, está voltada apenas para o lucro imediato, sem nenhuma responsabilidade com o equilíbrio do meio ambiente e a concentração da renda e terra. Do ponto de vista social, o modelo leva à inviabilização da agricultura familiar, ao aumento do êxodo rural e à queda da renda dos pequenos e médios agricultores.

Diante disso, como ficam então os movimentos sociais que lutam pela reforma agrária? Terão agora que lutar por uma reforma agrária de outro tipo, e não apenas uma que leve à divisão das terras. É necessária uma reforma agrária popular que coloque em primeiro lugar os interesses da população, com as seguintes características:

- Democratizar a propriedade da terra e eliminar o latifúndio

Esse é o primeiro passo. Precisamos mudar inclusive a Constituição, estabelecendo regras para o tamanho máximo da propriedade de imóveis rurais. Há em tramitação um projeto de autoria do Fórum Nacional de Reforma Agrária, com apoio de 175 parlamentares, que estabelece o tamanho máximo em 35 módulos regionais, um limite, em média, de 750 hectares para uma fazenda. Essa distribuição massiva do acesso à terra criará então condições de fixação do homem à agricultura e o tirará da exploração atual de ter que trabalhar para os outros.



Colheitadeiras de soja em fazenda na cidade de Tangará da Serra (MT), 2012.

Paulo Fridman/Bloomberg/Getty Images

- Reorganizar a produção para o mercado interno

Os índices de consumo de alimentos *per capita* no Brasil são dos mais baixos do mundo. Nossa população não tem renda suficiente para se alimentar adequadamente. Há então uma grande demanda represada. Por isso, as áreas mais férteis precisam ser reorganizadas. Em vez de produzir para exportação, como cana-de-açúcar, laranja, pecuária extensiva, essa produção deve ser reorientada para alimentos, voltada ao mercado interno.

- Garantia de renda mínima para os pequenos e médios agricultores

O Estado deve ter políticas de estímulo e de garantia da produção através dos preços, de subsídios de alguns produtos e da política de crédito rural, para que se assegure a todos os agricultores uma renda suficiente para progredirem. E com uma renda garantida pela política do estado, as famílias que vivem no meio rural deixarão de migrar e terão condições, inclusive, de educar os seus filhos sem ter que partir para a cidade.

- Agroindústrias cooperativadas e sob o controle dos agricultores

Os alimentos, para chegarem à mesa dos trabalhadores e da população urbana, passam por processos de agroindústrias. E hoje a maior parte da margem de lucro e da formação de preços dos alimentos está sob o controle de empresas transnacionais controladoras dessas agroindústrias. Em alguns setores já há oligopólio. Então, num projeto popular para a agricultura, será necessário assegurar que as agroindústrias serão de propriedade cooperativa, onde os agricultores fornecedores de matérias-primas e os trabalhadores na indústria deverão gerir essas empresas e repartir sua renda. Além disso, será necessário descentralizar as agroindústrias existentes no país, diminuir o tamanho da escala, reorientar sua instalação para os pequenos municípios e levá-las para o meio rural. Com isso, descentraliza-se o progresso técnico, criam-se novos tipos de empregos para a juventude do meio rural e garante-se um processo de desenvolvimento mais homogêneo e mais democrático.

O setor público agrícola precisa ser reorganizado e atuante

Em todos os países desenvolvidos no mundo, o Estado tem um papel fundamental em gerir políticas públicas de estímulo e proteção à agricultura. Porque a agricultura não produz uma mercadoria qualquer, ela produz os alimentos, a possibilidade de sobrevivência da sociedade, da população. Então, o Estado, em nome de toda a sociedade, deve ter uma série de políticas públicas, que garanta os agricultores,

a produção e que promova o bem-estar social. Assim, o setor público agrícola deve usar o crédito rural, a política de controle de preços dos produtos, a garantia de assistência técnica gratuita, um sistema de escoamento e armazenagem da produção e apoio à pesquisa agropecuária, em função da melhoria das condições de vida e de produção da maioria dos agricultores, e não apenas dos grandes fazendeiros, como é atualmente.

Um novo modelo tecnológico

Esse conjunto de reformas precisa estar casado com um novo modelo tecnológico. Este deveria estar baseado em técnicas da agricultura orgânica, que respeitem o meio ambiente e o equilíbrio ecológico, enfim uma agricultura sustentável, para que as técnicas adotadas assegurem melhorias na produtividade física das lavouras, respeitando o meio ambiente, a preservação dos recursos naturais e a saúde do agricultor e consumidor. Isso representa também estimular a produção de sementes pelos próprios agricultores e a democratização e o controle do estado das técnicas de biotecnologia que considerem a saúde dos consumidores e agricultores.

Esses são os elementos fundamentais de um projeto popular para a agricultura. Mas a sua aplicação não depende da vontade dos trabalhadores rurais, nem apenas do acesso à terra. Por isso nosso movimento vem defendendo a tese de que a luta pela reforma agrária, agora, não é mais apenas contra o latifúndio, ou seja, não basta apenas seguir ocupando terras, o que continuaremos fazendo. Mas a luta por uma reforma agrária popular depende também da mudança do modelo econômico geral, depende de derrotarmos as multinacionais que atualmente controlam nosso comércio agrícola, nossas agroindústrias. E derrotarmos esse modelo tecnológico das multinacionais, que querem nos impor os transgênicos e o monopólio do controle da biotecnologia.

Somente com essas mudanças vamos garantir a solução para os problemas fundamentais de nossa sociedade, como a falta de trabalho, comida, moradia, terra, educação e cultura.



Cultura orgânica em Londrina (PR), 2014.

Gerson Sobrinho/Terrastock

Texto 2

A opinião das empresas do agronegócio

Leontino Balbo Júnior,
Usina São Francisco S. A.

Para tornar a agricultura sustentável no Brasil, é preciso que algumas mudanças de rota sejam feitas, sob vários aspectos, em relação à forma como se conduz a agricultura no país. Os passivos sociais, econômicos e ambientais, relacionados às atividades agrícola e agroindustrial no país, devem ser resgatados, de forma a atender padrões de sustentabilidade mínimos, aceitos internacionalmente.

As soluções são de simples diagnóstico e difícil aplicação, porém factíveis. Neste artigo contaremos a mudança na nossa atividade agrícola e que nos permitiu adentrar o mercado dos produtos considerados éticos, com o Projeto Cana Verde (www.nativeorganics.com.br). São dezesseis anos de esforços em busca da sustentabilidade do maior projeto de agricultura orgânica do mundo na atualidade, sob minha coordenação. Mantemos 13 mil hectares de cana-de-açúcar orgânica certificada. Somos detentores de 40% do mercado mundial de açúcar orgânico e estamos comercializando 18 mil toneladas de açúcar nos cinco continentes e em 27 países [...].

Sob o aspecto técnico e ambiental, é preciso alinhar as técnicas agrícolas em uso no Brasil às necessidades do solo e clima tropicais. Os imigrantes europeus que para cá vieram no fim do século XIX trouxeram técnicas agrícolas em uso, na época, nos países temperados. Essas técnicas não se adaptam às condições

no Brasil e podem levar à degradação crescente dos solos. Os solos assim manejados necessitam cada vez mais de insumos caros e danosos ao ambiente, para manter a produtividade. E mesmo assim a degradação dos solos continua avançando. Milhões de toneladas de defensivos e fertilizantes químicos são aplicados no campo, com impacto ambiental negativo, para fazer o que o solo e o ambiente poderiam fazer por si mesmos se recebessem o tratamento adequado.

Sobre o solo tropical protegido, vivo e bem manejado, é possível implantar-se um manejo integrado de produção, senão orgânico. Ao longo de dezesseis anos, implantamos em nossas ecofazendas o manejo integrado (MI) da estrutura do solo, MI de pragas, MI de plantas espontâneas, MI de fertilização orgânica, colheita de cana crua, programa de reflorestamento, programa de proteção à vida selvagem, monitoramento ambiental e avaliação da biodiversidade.

O resultado é que atualmente não usamos qualquer defensivo, enquanto que, há dez anos, usávamos anualmente mais de 50 mil kg de agrotóxicos. Com o manejo integrado e controle biológico de pragas, formigueiros diminuíram de 7,0 para 0,3 por hectare, sem o uso de formicidas químicos. A população de formigas remanescentes é fundamental para o novo equilíbrio ecológico, alcançado pelo ambiente. Os cupins benéficos aumentaram e os maléficos desapareceram. Toda a cana é colhida crua, sem queimar, e a palha é usada para proteger e condicionar o uso do solo. A produtividade aumentou em 11%, passando das 100 toneladas por hectare, mesmo sendo abolido o uso de 4 mil toneladas de adubos químicos por ano.

Usina produtora de álcool e
açúcar em Valparaíso (SP), 2014.

Ernesto Reighran/Pulsar



O risco de erosão foi afastado a tal ponto que os terraços foram suprimidos. O solo reativou o mecanismo de autorregulação que possuía quando sob mata nativa original. A cultura é menos sensível aos efeitos das secas, diferente do que ocorre com as culturas sobre os solos convencionais. Isto porque teores adequados de matéria orgânica foram recuperados.

A natureza, outrora quase totalmente banida da atividade agrícola, foi convidada a novamente participar, e o resultado foi ótimo. Hoje, temos a convicção de que os investimentos em processos naturais de produção são os que apresentam as melhores relações custo-benefício. Para cada real investido no controle biológico de pragas, temos um benefício de quatro reais, comparando ao resultado que o uso de defensivos químicos propiciaria.

A cadeia alimentar foi restabelecida, a ponto de termos de volta veados, tamanduás-bandeira, lobos, lontras etc. Os animais utilizam os canaviais como uma dimensão de seus habitats. Estamos estudando o como e o porquê disto, pois é inédito.

Um novo equilíbrio geral foi estabelecido e isto contraria em muito a tradição agrônômica. Não é preciso dizer que não somos a “menina dos olhos” da indústria química, que emprega parte dos agrônomos de hoje como vendedores de produtos, os quais na sua maioria promovem a degradação do ambiente. Nas faculdades de agronomia, passamos 90% do tempo aprendendo a promover a vida do solo e do ambiente, mas depois dos estudos a maioria dos agrônomos passa a vender produtos que matam plantas, insetos e microrganismos, como se estas formas de vida pudessem simplesmente ser eliminadas. As Universidades precisam participar mais, para repensar o modelo brasileiro. Alguns conceitos agrônômicos precisam ser aposentados, pois o ambiente deve ser entendido do ponto de vista holístico, e não de forma compartimentada.

Não precisa ser orgânico para ser sustentável. Não precisamos envolver todos os produtores em certificações caras e às vezes até não muito razoáveis. O manejo integrado da lavoura já é suficiente. O manejo integrado do ambiente de produção agrícola será a grande evolução que a agricultura vai experimentar nas próximas décadas.

Ter competência em custos é fundamental. É preciso, nesse tipo de empreendimento, manejar itens de custo inteligentemente. Por exemplo, mecanizamos totalmente a colheita de cana e não dispensamos os trabalhadores, os quais foram reclassificados e assumiram posições mais nobres na estrutura de produção. Equipes especializadas em monitoramento das populações de insetos foram formadas. Outras equipes foram formadas para realizar o controle seletivo de

plantas espontâneas. O controle é seletivo porque algumas destas plantas desempenham importante papel no manejo integrado de pragas. Desta forma, recursos despendidos com a colheita manual foram descolocados para o controle seletivo de plantas espontâneas, porém compensados pelo custo menor propiciado pela colheita mecânica e a eliminação de despesas com herbicidas.

Mudanças equivalentes devem ser promovidas na área social. Há muito espaço para a mão de obra na agricultura brasileira, porém continuamos a usar pessoas para realizar tarefas que não precisam da tomada de decisão por trás da mão que trabalha. Exemplificando, a um custo bem melhor, o trabalhador que decide pela seleção dos frutos aptos a serem exportados contribui para agregar valor ao produto e, conseqüentemente, consegue melhor remuneração do que os trabalhadores realizadores de tarefas que uma máquina poderia fazer. Isto torna o custo de mão de obra bem remunerada compatível com a estrutura de custos de produtos agrícolas de bom valor agregado. A adequação do uso da mão de obra traz uma grande contribuição para o reequilíbrio da estrutura de custos e preços dos produtos agrícolas, ajudando a viabilizar a permanência do trabalhador rural no campo. Em nossa empresa, buscamos a integração dos trabalhadores aos objetivos do programa orgânico e, para isso, iniciamos em 1983 um amplo programa de promoção social composto por programas de assistência à saúde, capacitação e treinamento, plano de carreira baseado em cargos e salários, participação nos resultados, programa educacional, além de esporte e lazer. A remuneração dos trabalhadores é bem maior que a paga pela agricultura em geral. Apesar disto, estamos longe dos US\$ 5,00 [cinco dólares] por hora que os produtores rurais da Califórnia pagam aos seus trabalhadores rurais. [...]

No aspecto econômico, é necessário que o resultado da venda dos produtos agrícolas ou agroindustriais suportem os custos envolvidos. A postura ética ilibada é necessária para se obter credibilidade junto ao cliente. Transparência, capacidade técnica e comprometimento com a qualidade devem ser demonstrados permanentemente. Não se pode esperar que o mercado demande, mas deve-se, sim, desenvolvê-lo buscando parceiros usuários dos produtos, com a mesma afinidade filosófica. Princípios de fidelidade e parceria devem ser estabelecidos ao longo de toda a cadeia, pois não deve haver lugar para mercado de combate, no qual o preço se sobrepõe à ética. [...]

Fonte dos textos: CAMARGO, A. et al. **Meio ambiente Brasil**: avanços e obstáculos pós-Rio-92. São Paulo: Instituto Socioambiental; Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002.

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Aponte a ideia central de cada um e identifique os principais argumentos de cada autor.
2. Os textos expressam opiniões convergentes ou antagônicas? Localize palavras e/ou frases que expressam convergência ou oposição.
3. Qual é sua opinião a respeito?
4. Discuta as opiniões dos autores e a sua própria opinião, confrontando-as com a dos seus colegas.

1. (Enem/MEC)

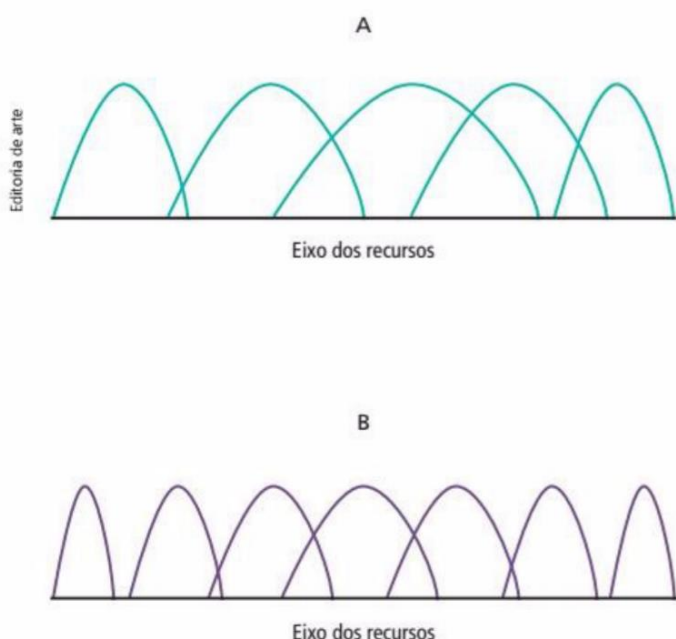
Apesar da riqueza das florestas tropicais, elas estão geralmente baseadas em solos inférteis e improdutivos. Grande parte dos nutrientes é armazenada nas folhas que caem sobre o solo, não no solo propriamente dito. Quando esse ambiente é intensamente modificado pelo ser humano, a vegetação desaparece, o ciclo dos nutrientes é alterado e a terra se torna rapidamente infértil.

CORSON, Walter H. *Manual Global de Ecologia*, 1993.

No texto acima, pode parecer uma contradição a existência de florestas tropicais exuberantes sobre solos pobres. No entanto, este fato é explicado pela

- profundidade do solo, pois, embora pobre, sua espessura garante a disponibilidade de nutrientes para a sustentação dos vegetais da região.
- boa iluminação das regiões tropicais, uma vez que a duração regular do dia e da noite garante os ciclos dos nutrientes nas folhas dos vegetais da região.
- existência de grande diversidade animal, com número expressivo de populações que, com seus dejetos, fertilizam o solo.
- capacidade de produção abundante de oxigênio pelas plantas das florestas tropicais, consideradas os “pulmões” do mundo.
- ☒ rápida reciclagem dos nutrientes, potencializada pelo calor e umidade das florestas tropicais, o que favorece a vida dos decompositores.

2. (UFRJ) As figuras A e B mostram graficamente dois conjuntos de espécies e seus respectivos nichos (áreas delimitadas pelas curvas). Uma das figuras representa a zona temperada, e a outra, a zona tropical.



Qual figura corresponde à zona tropical e qual corresponde à zona temperada? Justifique sua resposta, apresentando duas razões para sua escolha.

3. (UFMG) Analise esta figura:

Atalho para a biodiversidade: corredor ecológico de 800 km interligará parques do Centro-Oeste do Brasil



Considerando-se a implantação de corredores ecológicos, é INCORRETO afirmar que

- ☒ os parques, na falta desses corredores, constituem ilhas isoladas de ampliação da biodiversidade e de formação de novas espécies.
 - esse tipo de ligação permite o fluxo gênico entre indivíduos da mesma espécie e a manutenção de seus ciclos biológicos.
 - alguns animais favorecidos, nas regiões assim interligadas, são a onça-pintada, o lobo-guará, a ema e o veado-campeiro.
 - os animais e plantas dependentes desses corredores são espécies sensíveis a ambientes alterados.
4. (UFAC) A figura abaixo representa a distribuição geográfica dos biomas no território brasileiro, segundo IBGE (2005).



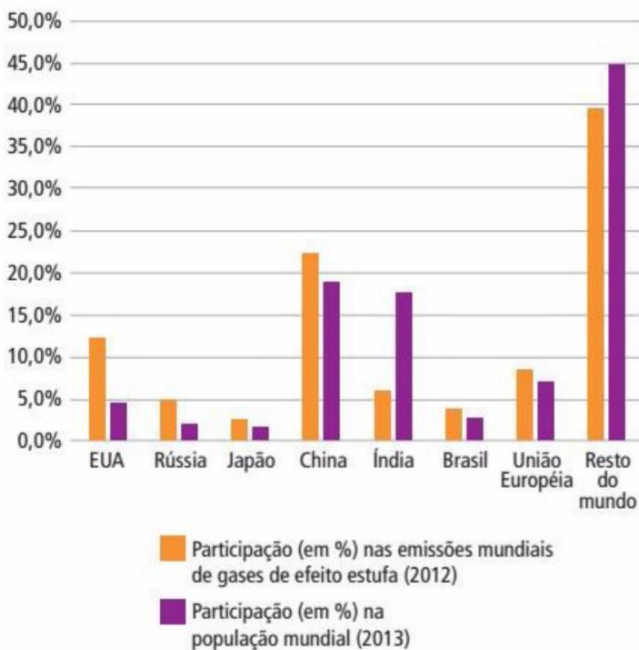
Assinale a alternativa que associa corretamente o espaço numerado, no mapa, aos biomas correspondentes

- 1 - Amazônia, 2 - Cerrado, 6 - Pampa.
- 3 - Caatinga, 5 - Pantanal, 2 - Cerrado.
- 2 - Amazônia, 6 - Mata Atlântica, 5 - Pampa.
- 4 - Cerrado, 5 - Caatinga, 2 - Mata Atlântica.
- ☒ 2 - Caatinga, 6 - Pampa, 5 - Pantanal.

5. Os poluentes atmosféricos podem ter origem natural, como os que são lançados pelos vulcões, mas as principais fontes de poluentes são as atividades humanas. Dos problemas ambientais ocasionados pela ação antropogênica:

- qual dificulta a dispersão de poluentes nos grandes centros urbanos, principalmente nos meses de inverno?
- qual é responsável por alterações na composição química do solo, das águas e de estruturas metálicas? E por que pode ocorrer em áreas em que não há emissão de gases poluentes?

6. Analise os dados do gráfico a seguir:



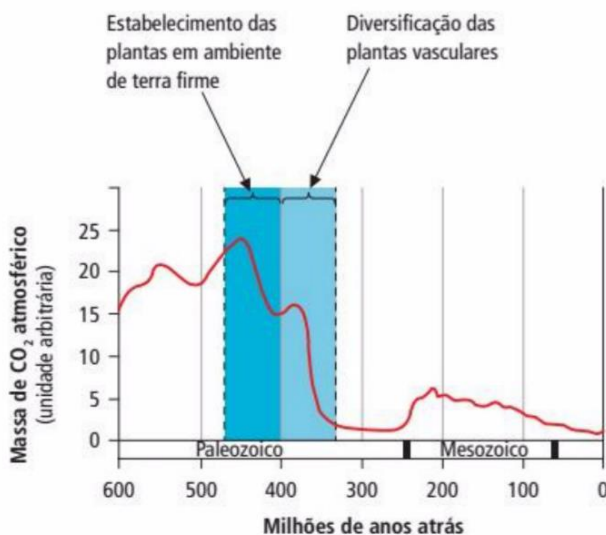
Fonte: Climate Data Explorer. Disponível em: <<http://cait.wri.org>>. Acesso em: abr. 2016.

Com base nessa análise, discuta essa afirmação:

Hoje, os países ricos queimam a maior parcela dos combustíveis fósseis; no futuro, os países pobres pagarão a maior parcela da conta.

World Climate Change Bulletin.

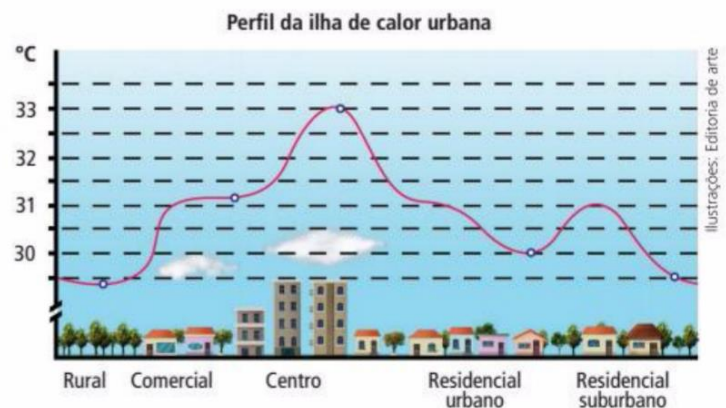
7. (Fuvest-SP)



O gráfico mostra a variação da concentração de gás carbônico atmosférico (CO₂) nos últimos 600 milhões de anos, estimada por diferentes métodos. A relação entre o declínio da concentração atmosférica de CO₂ e o estabelecimento e a diversificação das plantas pode ser explicada, ao menos em parte, pelo fato de as plantas:

- usarem o gás carbônico na respiração celular aeróbica.
- transformarem átomos de carbono em átomos de oxigênio.
- resfriarem a atmosfera e reduzirem o efeito estufa.
- produzirem gás carbônico pela degradação de moléculas de glicose.
- e)** imobilizarem carbono em polímeros orgânicos, como celulose e lignina.

8. A combinação entre a maior temperatura do ar sobre a cidade (que forma a chamada ilha urbana de calor), a movimentação mais lenta do ar, a impermeabilização do solo, a relativa escassez de vegetação e a maior quantidade de poluentes gera verdadeiras redomas de poluição. As cidades localizadas em bacias rodeadas por montanhas estão sujeitas à concentração persistente de poluentes. É o caso da Cidade do México, a metrópole mais poluída do mundo, onde a fraca circulação do ar dificulta a dispersão de gases. No Brasil, as metrópoles do litoral nordestino, batidas pela brisa, apresentam qualidade do ar relativamente boa.

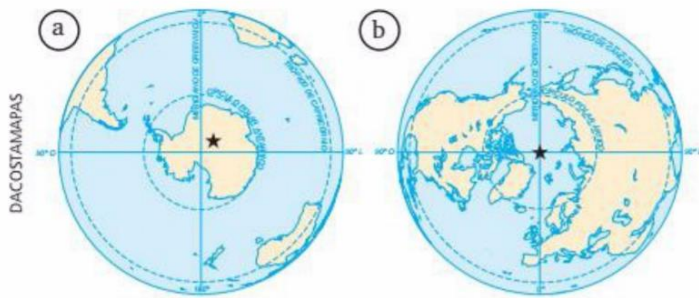


Fonte do gráfico: SKINNER, B. J. et al. *The blue planet*. New York: John Wiley & Sons, 2011.

Depois de ler o texto e analisar o gráfico, julgue em verdadeiras (V) ou falsas (F) as afirmativas:

- As áreas residenciais têm temperatura média superior às áreas rurais.
- Áreas centrais são, em geral, mais frescas que as áreas residenciais.
- A topografia do sítio urbano interfere na capacidade de dispersão dos poluentes atmosféricos.
- A brisa marinha contribui para dispersar os poluentes atmosféricos.
- Em geral, as metrópoles litorâneas do Nordeste do Brasil são mais quentes que as cidades do interior.

9. Os mapas a seguir, em projeção azimutal, representam os hemisférios terrestres a partir dos polos. Nota-se a significativa diferença na área coberta pela água.



(a) Hemisfério Sul, chamado "hemisfério das águas", e (b) Hemisfério Norte ou "hemisfério das terras".

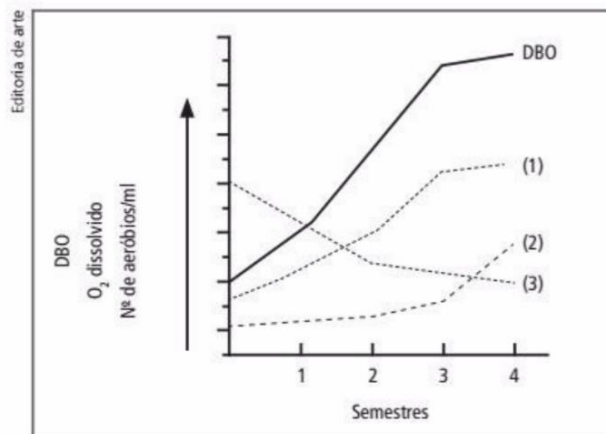
Na tabela, estão as temperaturas médias dos hemisférios:

Período	Hemisfério Norte	Hemisfério Sul
Verão	22,4	17,1
Inverno	8,1	9,7
Variação	14,3	7,4

Fonte: AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

Como você explica os dados da tabela, levando em consideração a diferença na quantidade de água que cobre cada um dos hemisférios?

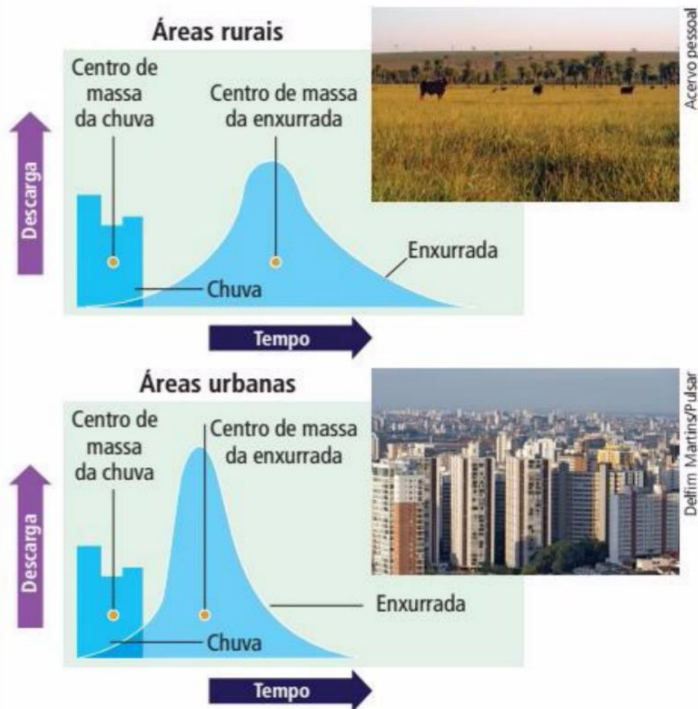
10. (UERJ) A poluição orgânica em rios e lagos próximos a centros urbanos é cada vez maior, em função do lançamento de esgotos maltratados ou não tratados. Com o objetivo de controlar esse problema, acompanharam-se as alterações de demanda bioquímica de oxigênio, a DBO, que indica a quantidade de oxigênio consumido na metabolização da matéria orgânica em certas condições. Ao final de cada semestre, durante dois anos, com o acompanhamento de amostras de água coletadas em uma lagoa, junto a um grande centro urbano, obtiveram-se as indicações representadas pelo gráfico abaixo:



Em relação às curvas (1), (2) e (3), identifique, justificando sua opção, a curva que melhor representa a variação da concentração de:

- oxigênio dissolvido.
- microrganismos aeróbios.

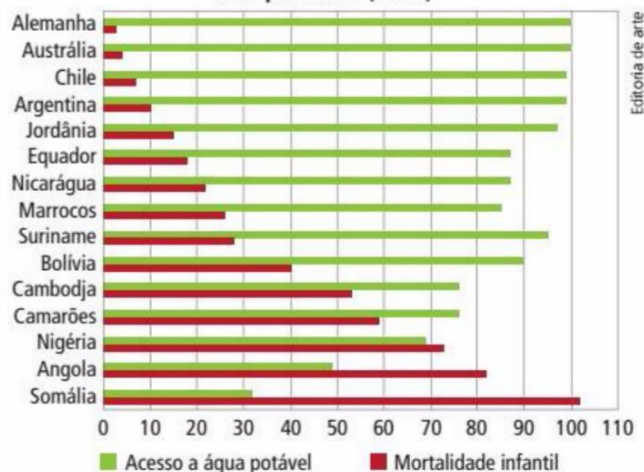
11. Uma das consequências da urbanização é o aumento da velocidade do escoamento de águas pluviais, que pode acarretar graves enchentes nos meses mais chuvosos. Trata-se de um fenômeno bastante comum em diversas cidades brasileiras, como São Paulo.



- Interprete os gráficos levando em conta as características do solo em áreas rurais e em áreas densamente urbanizadas.
- Explique a elevada ocorrência de leptospirose em pessoas que, em cidades brasileiras, entram em contato com a água de enchentes.

12. Observe o gráfico:

Mortalidade infantil (mortes por mil nascidos vivos) e porcentagem da população com acesso à água potável de boa qualidade (2013)



Fonte: The World Bank (IBRD/IDA) e United Nations World Population Prospects, 2013.

- Que conclusão pode ser obtida pela análise do gráfico?
- Elabore pelo menos uma hipótese que explique sua conclusão.

13. (Unicamp-SP) Um agricultor resolveu utilizar uma pequena parte de seu terreno para o plantio de feijão e a maior parte para o cultivo de milho. Colheu um pouco de feijão, mas o milho não produziu praticamente nada. Consultou um técnico que lhe sugeriu, após análise do solo, que plantasse no terreno uma leguminosa não comestível, conhecida como feijão-de-porco. Essas plantas, depois que dessem frutos, deveriam ser cortadas e misturadas com a terra, pensando no plantio do milho no ano seguinte. Por que o técnico sugeriu que ele plantasse uma leguminosa e por que a planta, depois de cortada, deveria ser incorporada ao solo?

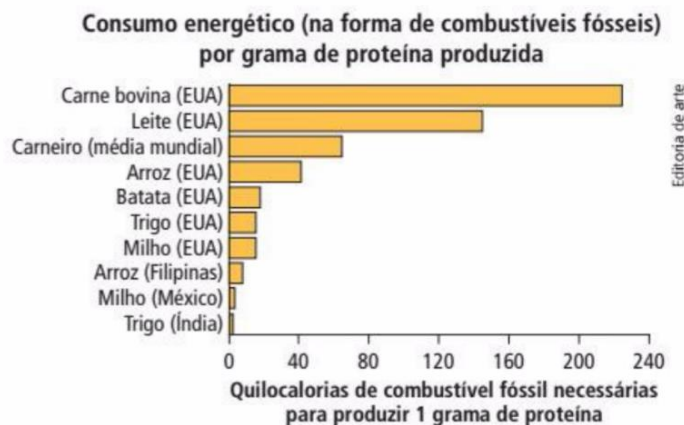
14. (Enem/MEC) O controle biológico, técnica empregada no combate a espécies que causam danos e prejuízos aos seres humanos, é utilizado no combate a lagarta que se alimenta de folhas de algodoeiro. Algumas espécies de borboleta depositam seus ovos nessa cultura. A microvespa *Trichogramma* sp. introduz seus ovos nos ovos de outros insetos, incluindo os das borboletas em questão. Os embriões da vespa se alimentam do conteúdo desses ovos e impedem que as larvas de borboleta se desenvolvam. Assim, é possível reduzir a densidade populacional das borboletas até níveis que não prejudiquem a cultura. A técnica de controle biológico realizado pela microvespa *Trichogramma* sp. consiste na

- introdução de um parasita no ambiente da espécie que se deseja combater.
- introdução de um gene letal nas borboletas, a fim de diminuir o número de indivíduos.
- competição entre a borboleta e a microvespa para a obtenção de recursos.
- modificação do ambiente para selecionar indivíduos melhor adaptados.
- aplicação de inseticidas a fim de diminuir o número de indivíduos que se deseja combater.

15. (PUC-RJ) Atualmente, poucos assuntos geram tanta controvérsia como os produtos transgênicos. Esta interferência do homem na natureza se dá por meio da engenharia genética. Sobre este tema, destaque a afirmação correta:

- O objetivo dos cientistas é criar novas espécies, aumentando a produtividade e minimizando, por consequência, o uso de herbicidas.
- A aplicação da engenharia genética nos alimentos teve origem em países do terceiro mundo, que apresentam uma grande incidência de pragas na agricultura.
- Modificar um organismo geneticamente significa cruzar espécies diferentes, para se obter uma espécie nova que não ocorre naturalmente.
- A modificação genética dos alimentos consiste na transferência de material hereditário de um organismo para outro receptor, gerando novas combinações genéticas.
- Os ambientalistas defendem o uso da engenharia genética, pois os seus efeitos são totalmente previstos e controlados, não trazendo perigos para a humanidade.

16. Na agricultura, combustíveis fósseis (como o óleo diesel) movimentam tratores, implementos e caminhões, permitindo o plantio de sementes, a aplicação de fertilizantes e defensivos, a distribuição e a comercialização dos produtos. O gráfico a seguir informa o gasto energético requerido na produção de 1 grama de proteína proveniente de alimentos de diferentes naturezas.



A tabela indica a participação de diferentes tipos de alimentos na dieta média nos EUA, no Brasil e no mundo como um todo:

Participação média na dieta			
Tipo de alimento	Brasil	EUA	Mundo
Cereais	35%	20%	50%
Óleos e gorduras	30%	40%	20%
Carnes, peixes, leite, ovos	20%	30%	14%
Frutas, verduras, sementes	10%	5%	8%
Raízes e tubérculos	3%	0%	5%
Outros alimentos	2%	5%	3%

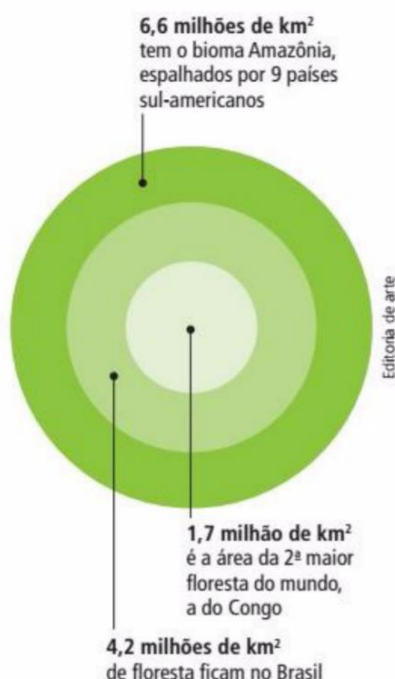
Fonte: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Dimensions of need – An atlas of food and agriculture. London: Banson, 1995.

Comparando os dados referentes às populações dos Estados Unidos e do Brasil, procure relacionar dieta e poluição atmosférica.



O consumo de combustível fóssil está associado a diversas etapas das atividades agrícolas.

1. O gráfico a seguir traz informações sobre algumas florestas ombrófilas do mundo.



Fonte: WWF.

- a) Que porcentagem do bioma amazônico está no Brasil?
- b) A área florestal do Congo corresponde a qual porcentagem do bioma amazônico?
2. (Enem/MEC) A Lei Federal nº 9.985/2000, que instituiu o sistema nacional de unidades de conservação, define dois tipos de áreas protegidas. O primeiro, as unidades de proteção integral, tem por objetivo preservar a natureza, admitindo-se apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, isto é, aquele que não envolve consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais. O segundo, as unidades de uso sustentável, tem por função compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais. Nesse caso, permite-se a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo-se a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

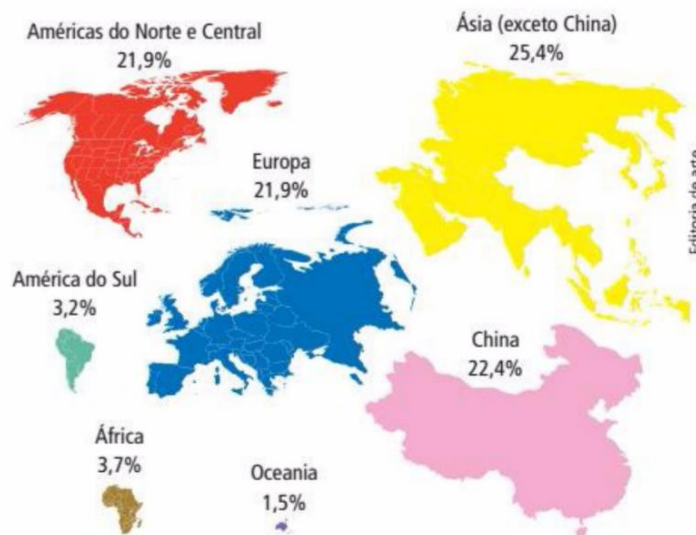
Considerando essas informações, analise a seguinte situação hipotética.

Ao discutir a aplicação de recursos disponíveis para o desenvolvimento de determinada região, organizações civis, universidade e governo resolveram investir na utilização de uma unidade de proteção integral, o Parque Nacional do Morro do Pindaré, e de uma unidade de uso sustentável, a Floresta Nacional do Sabiá. Depois das discussões, a equipe resolveu levar adiante três projetos:

- o projeto I consiste de pesquisas científicas embasadas exclusivamente na observação de animais;
- o projeto II inclui a construção de uma escola e de um centro de vivência;
- o projeto III promove a organização de uma comunidade extrativista que poderá coletar e explorar comercialmente frutas e sementes nativas.

Nessa situação hipotética, atendendo-se à lei mencionada acima, é possível desenvolver tanto na unidade de proteção integral quanto na de uso sustentável

- a) apenas o projeto I.
- b) apenas o projeto III.
- c) apenas os projetos I e II.
- d) apenas os projetos II e III.
- e) todos os três projetos.
3. Dados sobre a qualidade do ar podem ser obtidos em tempo real, no portal do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (disponível em: <<http://tub.im/285pbo>>; acesso em: mar. 2016), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- a) Acesse o mapa referente à qualidade do ar, localize sua região e veja qual é a qualidade do ar no momento, classificando-a de acordo com a tabela encontrada na página. Acompanhe durante alguns dias e veja se ocorrem variações.
- b) Acesse o mapa referente às ocorrências de queimadas, localize sua região e veja a quantidade de focos de queimada no momento. Acompanhe durante alguns dias e veja se ocorrem variações.
4. Um tipo peculiar de mapa é a anamorfose, que já foi definida como uma metáfora cartográfica, pois não obedece exatamente às dimensões relativas (às vezes, sequer à forma) das áreas cartografadas. Nessa anamorfose, há a indicação da participação de cada região na emissão global de dióxido de carbono, em 2014.

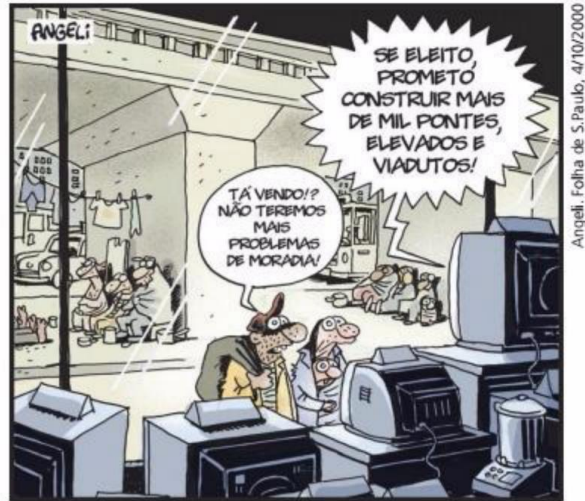


Fonte: CIAIS, P. (Org.). Global Carbon Atlas. Paris: Fondation BNP Paribas, 2014.

- a) Qual é a participação total da África na emissão global de dióxido de carbono?
- b) Qual é o continente responsável pelo maior percentual da emissão global de dióxido de carbono? Com que porcentagem?
- c) A América do Sul responde por qual porcentagem das emissões de dióxido de carbono de todo o continente americano?

5. Para muitos políticos, “governar é construir viadutos e avenidas”.

Levando em conta a afirmação acima, escreva um texto com no máximo cinco linhas comentando a charge abaixo.



6. Leia o texto abaixo e o infográfico seguinte:

Máquina de fazer chuva

A umidade que transpira da floresta abastece de água outras áreas do país — e os impactos lá são sentidos aqui.

É uma máquina de fazer chuva funcionando a todo vapor. [...]

Olhando do alto é possível ver como a floresta mexe com o clima. De toda a umidade que entra do Atlântico pelo Norte do País e que vira chuva sobre a Amazônia, só metade é drenada de volta ao mar, levada pelos rios. A outra metade é reciclada pela floresta, devolvida à atmosfera e exportada para outras regiões [...]. A maior parte é empurrada pelo vento em direção ao Centro-Oeste, Sudeste e Sul, ajudando a irrigar colheitas e abastecer hidrelétricas nas áreas mais produtivas do país. [...]

O “RIO VOADOR”

A Amazônia produz quantidades gigantescas de água, parte da qual é transportada para outras regiões do país.

CIRCULAÇÃO DOS VENTOS

NO INVERNO



Os ventos atravessam os Andes e seguem para o Pacífico. Parte do vapor vai para o sul, com menos frequência e intensidade.

NO VERÃO



Os ventos sopram sobre a Amazônia, batem nos Andes e viram para o sul, em direção à Bacia do Prata.



- 1 Ventos do atlântico entram no país pela costa norte, trazendo vapor de água do oceano.
- 2 Ao passar sobre a Amazônia, esse “rio” acumula grandes quantidades de vapor de água produzido pela floresta.



50% da água cai como chuva na região.

50% segue para o interior do continente.

- 3 O “rio voador” bate nos Andes e vira para o sul. As montanhas funcionam ao mesmo tempo como barreira e acelerador dos ventos.
- 4 Passa por cima dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo...
- 5 ... e deságua na Bacia do Prata.

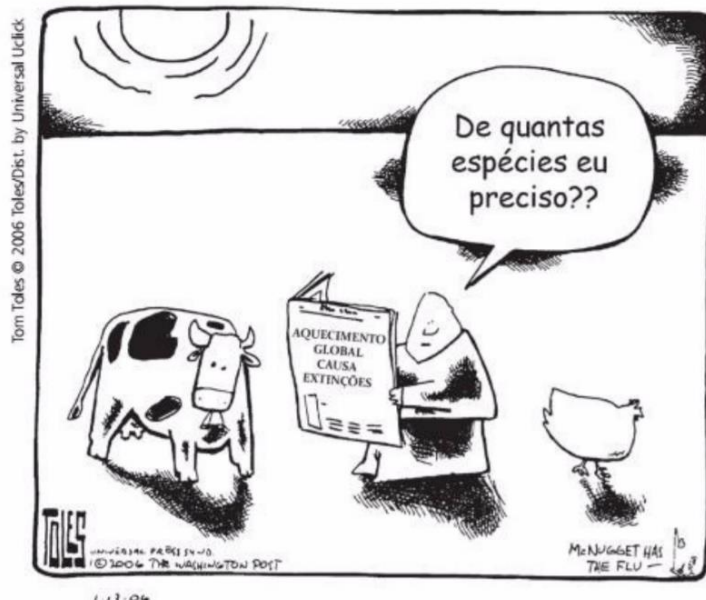
Agência Estado/AE

Fonte: ESCOBAR, H. Máquina de fazer chuva. Grandes Reportagens: Amazônia. **O Estado de São Paulo**, 25 nov. 2007. (Mapa meramente ilustrativo.)

A reportagem aborda o papel da Floresta Amazônica no controle do clima em escala global. Depois de analisar o texto e o infográfico, responda:

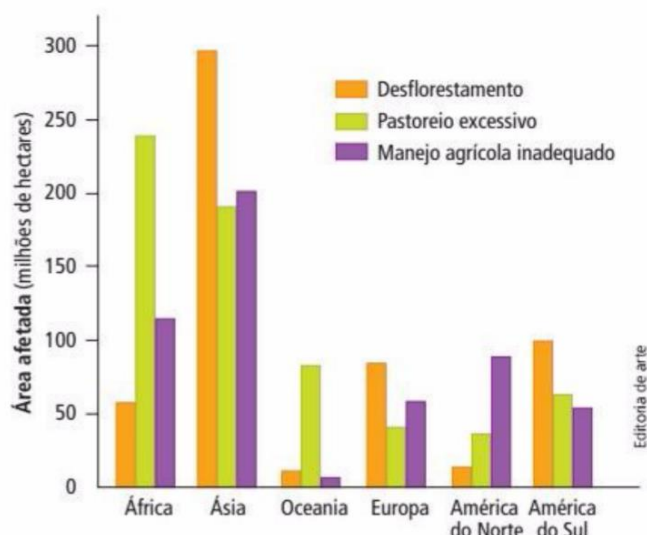
- a) Explique por que a preservação da Amazônia é fundamental para a produtividade agrícola do restante do país.
- b) O vapor de água que atravessa a Amazônia e alcança outras regiões tem, basicamente, duas origens. Quais são elas?

7. Observe a charge a seguir:



Explique por que a charge pode ser interpretada como uma crítica à visão utilitarista e antropocêntrica a respeito dos ecossistemas e dos recursos naturais.

8. A desertificação afeta todos os continentes habitados da Terra, e suas principais causas estão apontadas no gráfico a seguir.

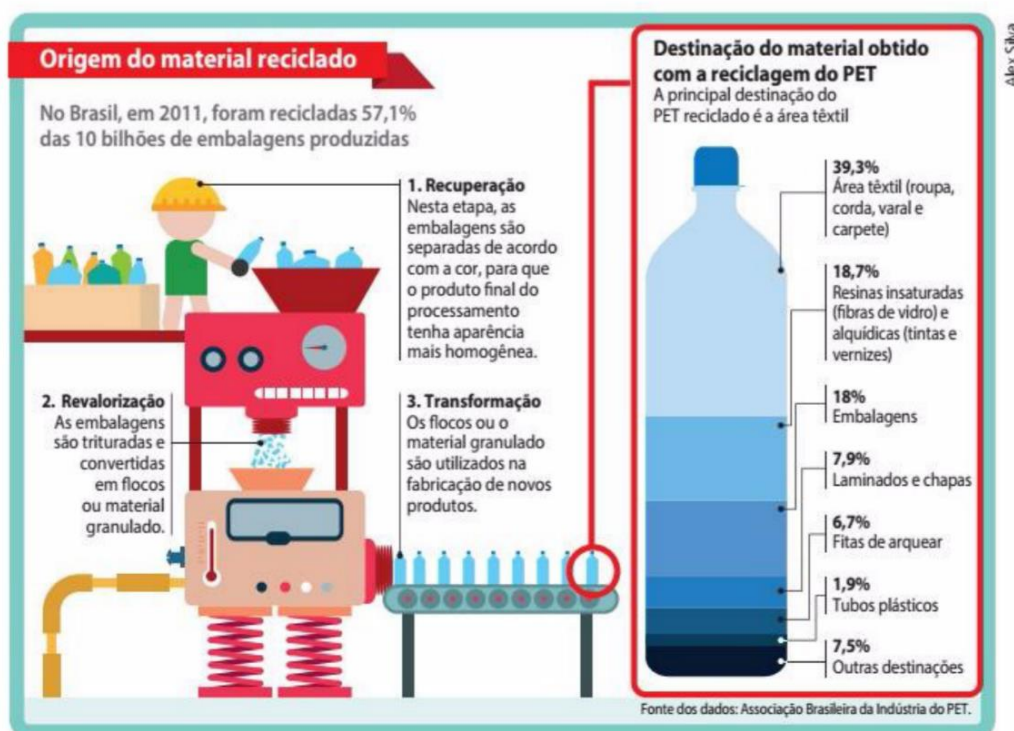


Fonte: ALEXANDRATOS, N. (ed.). *World agriculture: towards 2010*. Roma: FAO, 1995.

Julgue as afirmativas seguintes como verdadeiras (V) ou falsas (F):

- F I. Em relação às demais causas de desertificação, o papel do pastoreio excessivo é proporcionalmente mais significativo na África. *(proporcionalmente, é mais significativo na Oceania)*
- V II. A região do planeta com maior área total desertificada é a Ásia.
- V III. As regiões com maiores extensões de terra degradadas pelo desflorestamento são a Ásia e a América do Sul.

9. Analise o infográfico abaixo e responda às questões propostas.



- a) Quantas embalagens de PET foram recicladas no Brasil, no ano considerado?
- b) Quais são as etapas da reciclagem do PET?
- c) Qual é a destinação preferencial do PET reciclado no Brasil?

Bases da hereditariedade

Como atuam os genes

Uma ciência em evolução

Basta abrir os jornais ou assistir aos noticiários na TV para perceber que a Genética, antes restrita aos centros de pesquisa, está nas discussões cotidianas.

A moderna biotecnologia, cujo instrumento de trabalho é o próprio material genético, iniciou-se em 1869, quando o bioquímico suíço Friedrich Miescher descobriu a substância que, posteriormente, seria identificada como o DNA.

Desde 1940, a Genética Molecular assumiu papel central na Biologia, e a linha do tempo destas páginas apresenta momentos importantes na trajetória desse campo de atuação científica.

Pauling descreve a doença falciforme como uma **"doença molecular"**.

Griffith descobre em bactérias um fator de transformação capaz de **transmitir informações hereditárias**.

Avery, Colin MacLeod e McCarty demonstram e definem o **DNA como material genético**.

Briggs e King obtêm **clones de anfíbios** por transferência nuclear.

Trabalhos de Ochoa, Nirenberg, Khorana e Holley, iniciados na década de 1950, permitiram a **decifração do código genético**.

Berg obtém a primeira **molécula de DNA recombinada**.

Watson e Crick desvendam a **estrutura espacial da molécula do DNA**. Kornberg descobre a **enzima DNA polimerase**.

São descobertas as **endonucleases de restrição**, abrindo as portas da **transgenia**.

Bactérias modificadas sintetizam hormônio de crescimento humano.

Mulis começa a desenvolver a **reação em cadeia da polimerase (PCR)**. É produzida a **primeira vacina por OGM**.

Cohen e Boyer obtêm um **organismo geneticamente modificado (OGM) ou transgênico**.

Nasce **Louise Brown**, primeiro ser humano concebido por **fertilização in vitro**.

Insulina humana produzida por **bactéria geneticamente modificada** tem o uso aprovado pelo FDA, órgão do governo dos EUA que controla alimentos e medicamentos.

A justiça norte-americana aceita a **impressão digital de DNA** como prova criminal ou na investigação de paternidade.

Primeiras plantações em larga escala de **plantas transgênicas**.

Aprovada a comercialização de **tomates transgênicos**.

Aplicação da **terapia gênica** no tratamento de doenças hereditárias.

Completado o **sequenciamento do DNA** da bactéria *Haemophilus influenzae*.

Nasce a bezerra Vitória, **primeiro animal clonado no Brasil**. Lançamento do Projeto **Genoma do Câncer**, coordenado por **cientistas brasileiros**.

Conclusão preliminar do **Projeto Genoma Humano (PGH)**.

Nascimento de **Dolly**, primeiro mamífero desenvolvido por **transferência nuclear**.

O genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, causadora de doenças em plantas, é **sequenciado por pesquisadores brasileiros**.

No **Brasil**, inicia-se o **Programa de Pesquisa em Bioenergia**, para desenvolver variedades de **cana-de-açúcar mais produtivas e resistentes**. **Terapia gênica** é usada no **tratamento de várias doenças**, inclusive no Brasil.

Experiências bem-sucedidas de **terapia celular com células-tronco**.

Pesquisadores brasileiros concluem o **sequenciamento do genoma** da *Xanthomonas asconopodis* (bactéria causadora do cancro cítrico).

Clonagem de bovino por transferência nuclear.

Anunciada a criação da primeira **célula sintética**.

Gurdon e Yamanaka recebem o prêmio Nobel pela descoberta da técnica de **reprogramação de células adultas, convertidas em células-tronco**.

Linhagem de **células-tronco humanas obtidas de embrião**.

Lindahl, Modrich e Sancar dividem o Nobel de Química por desvendarem os **mecanismos moleculares de reparo do DNA**, que permitem preservar as informações genéticas ao longo do tempo.

A genética no cotidiano

em uma interessante discussão a respeito de saberes tradicionais, senso comum e o papel da ciência.

Cada vez com maior frequência, tomamos contato com avanços da Genética. Alguns exemplos são a prevenção e o tratamento de doenças hereditárias; o uso da biotecnologia na produção de vacinas, hormônios e de outros medicamentos; a “impressão digital” de DNA, auxiliando a solução de questões legais; e a obtenção de plantas geneticamente modificadas, mais resistentes e produtivas, empregadas como fontes de alimentos para os seres humanos. Aspectos éticos associam-se a essa área da Biologia, e cabe a toda a sociedade – não apenas aos geneticistas – decidir sobre sua utilização. Estar bem informado sobre o tema permite-nos avaliá-lo adequadamente e decidir melhor a respeito.

O nascimento de um filho é uma situação desafiadora da vida qualquer pessoa, e a genética está presente durante a gestação e após o nascimento – por exemplo, quando é feita a coleta de sangue da mãe e do recém-nascido, para a tipagem sanguínea, fundamental no diagnóstico de doenças que ocasionalmente acometem o recém-nascido, além de solucionar casos de troca de bebês.

Alguns dias depois do nascimento, mais uma vez deve ser coletada amostra de sangue da criança para o “exame do pezinho”. Instituído no Brasil na década de 1970, é obrigatório por lei e trata-se, na verdade, de uma série de exames. Em sua versão básica, detecta o hipotireoidismo congênito, a fenilcetonúria, a fibrose cística e a doença falciforme. Nas versões avançadas, pode detectar também a hiperplasia adrenal congênita, a galactosemia, a toxoplasmose congênita e a deficiência da biotinidase.

Os pais podem perguntar: aparentemente não temos nenhum problema, por que nossa criança necessita ser submetida a esses exames? O fato é que determinadas doenças hereditárias podem não se manifestar por uma ou várias gerações, mas voltam a surgir repentina e inesperadamente. Essas doenças “ocultas” não se manifestam, a menos que a criança receba simultaneamente do pai e da mãe a informação que as determina.

A criança pode ter olhos claros ou escuros, ter lóbulos das orelhas aderidos ou soltos, rosto de formato quadrado ou arredondado, o que a faz lembrar mais um ou outro genitor. Tais características, como o grupo sanguíneo, a determinação do sexo e a ocorrência da fenilcetonúria, pertencem ao campo da Genética, um dos mais empolgantes campos das ciências biológicas.

A Genética estuda o material genético, as variações entre os organismos e os mecanismos da hereditariedade, pelos quais as características são passadas de geração a geração. O termo *genética* foi primeiramente aplicado pelo cientista William Bateson, em 1908, para descrever o estudo da hereditariedade.

Termos essenciais

A palavra **gene** foi empregada pela primeira vez em 1909 para identificar as “unidades da herança”. Após a descoberta do DNA como material genético, o gene foi entendido como um segmento de DNA capaz de transcrever sua mensagem em uma molécula de RNA, que posteriormente coordena a síntese de uma proteína, determinando uma característica.

Nessa abordagem clássica (hoje questionada), um **cromossomo** é visto como uma sequência linear de genes. O lugar ocupado por um gene no cromossomo chama-se **loco gênico** (ou *locus*; no plural, *loci*). Ocupando locos correspondentes em um par de cromossomos homólogos estão os **alelos**, formas alternativas de um gene, que atuam sobre a mesma característica. O conjunto de alelos que o organismo herdou de seus genitores (ou seja, sua constituição genética) denomina-se **genótipo** (figura 2).

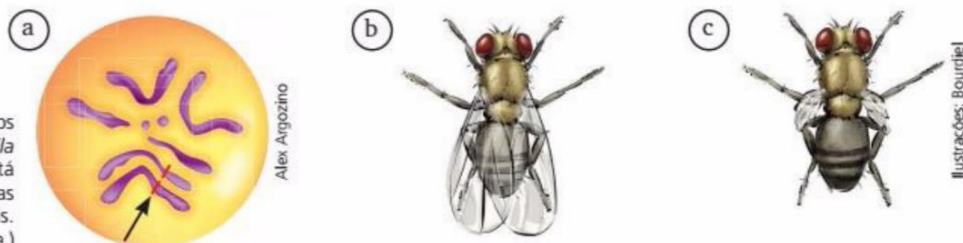
O conjunto de características internas e externas de um ser vivo, determinadas genética e ambientalmente, representa seu **fenótipo**.

O conjunto de todos os genes de uma célula constitui o seu genoma, que também pode ser entendido como a sequência de todos os nucleotídeos do DNA dessa célula.

A expressão
FENÓTIPO = GENÓTIPO + AMBIENTE
deve ser interpretada como “o fenótipo resulta da interação entre o genótipo e as influências ambientais”, e não como uma simples soma.

Fenótipo = Genótipo + Ambiente

Figura 2. (a) Em um dos pares de cromossomos homólogos da mosca-das-frutas (*Drosophila melanogaster*), no loco gênico indicado pela seta, está o gene que determina o formato das asas: (b) asas normais e (c) asas vestigiais. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)



Imaginemos, por exemplo, que em certa espécie animal os locos correspondentes ao gene relacionado com a cor da pelagem sejam ocupados por dois diferentes alelos: um determina que a pelagem seja preta, e o outro, que seja branca. O conjunto desses dois alelos para a cor da pelagem do animal é seu **genótipo**. A cor definida pela ação desses alelos (que depende da forma como interagem), se preta, branca, cinza ou malhada, é o seu **fenótipo**.

Compõem o fenótipo de uma pessoa a cor dos olhos, altura, cor da pele, grupo sanguíneo, acuidade visual, existência ou não de diabetes melito, entre outras características. Em uma espécie vegetal, o fenótipo inclui a cor das flores, quantidade de sacarose nos frutos, textura das sementes, comprimento das vagens, disposição dos ramos laterais e outros caracteres.

Algumas características, como o grupo sanguíneo, dependem exclusivamente do genótipo; no entanto, a maioria sofre influência de fatores ambientais. A cor da pele, por exemplo, é determinada geneticamente, mas pode ser modificada pela exposição à luz solar, que é um fator ambiental. Portanto, o fenótipo de um indivíduo depende do genótipo e do ambiente. A cor das flores de hortênsias, por exemplo, além de seu conjunto gênico, depende da acidez do solo (**figura 3**).

Em certas situações, fatores ambientais fazem um indivíduo exibir características denominadas **fenocópias**, para as quais o organismo não possui o genótipo correspondente. Um exemplo é a mudança da cor dos cabelos (de castanhos para loiros, ou vice-versa) provocada pelo uso de tinturas.



Figura 3. Hortênsias cultivadas (a) em solo ácido e (b) em solo básico.

A notícia

Em defesa da família, de todas as famílias

No Brasil, menos da metade dos lares segue a composição tradicional mãe-pai-filhos. Mesmo assim, setores políticos ainda têm dificuldade em reconhecer outras composições de família

Beto e Leo moram num prédio com varanda. Beto desenha casas e Leo é jornalista. Juntos, adotaram o filho de cabelos ruivos. É o garoto que sorri na capa verde do livro “Tenho dois papais”, de Bela Bordeaux. O casal e o filho são personagens da história infantil, criada para ilustrar os vários tipos de família que existem. A ideia veio há três anos, enquanto a designer ainda estudava na Universidade do Estado de Minas Gerais, como projeto de

conclusão de curso. Foi na metade de 2015, com financiamento coletivo, que Bela conseguiu publicar o livro infantil, destinado a crianças de 3 a 6 anos.

“Um livro para a família, para todas as famílias”. É como Bela Bordeaux delineia seu projeto. Como a mãe era diretora numa escola infantil, Bela sempre gostou de conversar com crianças. Ao entrar na faculdade e se envolver na militância LGBT, a designer percebeu a necessidade

de se falar sobre famílias homoparentais. “A ideia é que uma criança filha de pais gays se sinta representada, assim como as crianças de famílias tradicionais percebem a existência de outros modelos familiares”, conta Bela. No livro, a história do garoto com dois pais mostra que a vida que levam é idêntica à de uma família tradicional. “Esperamos que, futuramente, toda sociedade entenda a nossa simples fórmula: Pessoas + Amor = Família”. [...]

Em defesa da família, de todas as famílias. **Repórter Unesp**, 20 ago. 2015.
Disponível em: <www.reporterunesp.jor.br/em-defesa-da-familia-de-todas-as-familias>. Acesso em: mar. 2016.

Atividade

Escreva
no caderno

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o censo de 2010 mostrou que os lares com a chamada “formação tradicional” (pai, mãe e filhos) já deixaram de ser maioria no país, representando pouco menos de 49,9% do total.

A genética e as técnicas de reprodução assistida estão contribuindo para a constituição dessas novas formas de família. Pesquise a respeito dessa realidade e monte um grupo de discussão com seus colegas para analisar as implicações e os desafios decorrentes dessas inovações.

O fenômeno da dominância

Duas ou mais variações da mesma característica indicam que o loco gênico correspondente pode ser ocupado por, pelo menos, dois diferentes alelos. Em ervilhas, por exemplo, o loco relacionado com o aspecto das vagens pode ser ocupado, alternativamente, pelo alelo que condiciona vagens infladas ou pelo que condiciona vagens constrictas (**figura 4**).

Como esses alelos ocorrem em **cromossomos homólogos** (portanto, aos pares), podem ser encontrados três tipos de plantas:

- as que têm dois alelos para vagens infladas e que têm vagens infladas;
- as que têm dois alelos para vagens constrictas e, portanto, exibem vagens constrictas;
- as que têm um alelo para vagens infladas e um alelo para vagens constrictas e que apresentam vagens infladas.

Chama-se **alelo dominante** aquele que pode se manifestar tanto em dose dupla como em dose simples; o **alelo recessivo** só se expressa em dose dupla. No exemplo citado, o alelo que determina vagens infladas é dominante, porque manifesta seu efeito mesmo quando acompanhado de um alelo que condiciona vagens constrictas. Este, por sua vez, é recessivo, porque só expressa seu efeito quando aparece em dose dupla no genótipo.

Um alelo recessivo pode permanecer oculto em uma população, enquanto o alelo dominante geralmente se manifesta. Todavia, nem sempre o alelo dominante é o mais frequente. A observação das populações do norte da Europa, por exemplo, com a maioria formada por pessoas de cabelos claros, demonstra que alelos recessivos também podem ser os mais comuns.

Habitualmente, os alelos são representados por uma letra, que, em geral, corresponde à inicial do fenótipo recessivo. No caso citado, escolhe-se a letra C, inicial de “constricta”. A letra maiúscula indica o alelo dominante, e a letra minúscula, o alelo recessivo. Dessa forma, C representa o alelo dominante (condiciona vagens infladas), e c, o alelo recessivo (condiciona vagens constrictas). A relação de dominância pode ser expressa por $C > c$.

Quando um indivíduo possui dois alelos iguais (CC ou cc), ele é **homozigoto**; o de genótipo CC é **homozigoto dominante**, já o de genótipo cc é **homozigoto recessivo**. O genótipo Cc corresponde ao indivíduo **heterozigoto**.

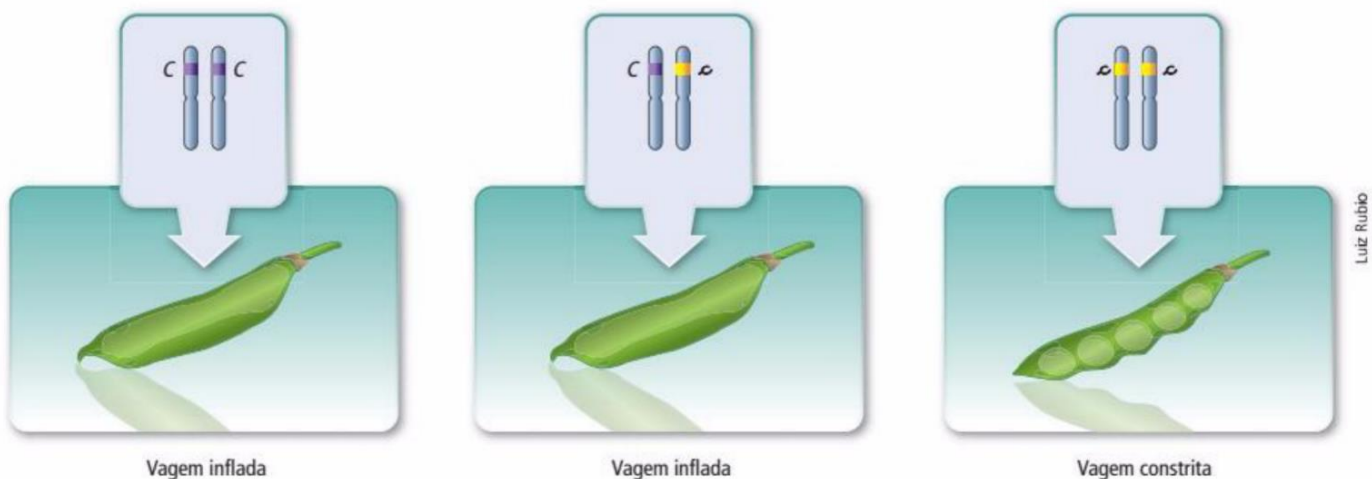


Figura 4. Representação de pares de cromossomos com genótipos e fenótipos correspondentes. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Ao contrário do que afirmavam os postulados da Genética clássica, para a maioria dos genes o alelo dominante **não é necessariamente um inibidor** do alelo recessivo; apenas se manifesta, determinando a produção de uma proteína, geralmente uma enzima. Por sua vez, o alelo recessivo determina a formação de uma proteína inativa, ou mesmo a ausência da proteína. Dessa forma, o homozigoto dominante produz uma enzima

em tal quantidade e o heterozigoto produz metade dela, o que geralmente é suficiente para que seu fenótipo seja praticamente idêntico ao do homozigoto dominante. Já o homozigoto recessivo não produz a enzima ativa, o que explica a diferença do fenótipo que ele demonstra. Não se trata, portanto, de uma verdadeira inibição, mas da incapacidade de o alelo recessivo se expressar fenotipicamente e da capacidade de o dominante se expressar.

Atividade prática

Levantamento de caracteres genéticos

Objetivo

- Realizar o levantamento de algumas características dominantes e recessivas entre os alunos da turma.

Materiais

- Lápis
- Papel

Procedimentos

Organizem-se em grupos de 4 ou 5 alunos.

Característica	Variedade	Número de alunos com a característica
Capacidade de enrolar a língua	Enrola	
	Não enrola	
Linha do cabelo	Contínua	
	Não contínua	
Uso da mão	Destro	
	Canhoto	
Cor dos olhos	Escuros	
	Claros	
Tipo de cabelo	Crespo	
	Liso	
Lóbulo da orelha	Livre	
	Aderente	

Faça, na sua equipe e cada qual no seu caderno, o levantamento das características hereditárias mencionadas na tabela apresentada e anote o resultado. Com a ajuda do seu professor, proceda ao levantamento das mesmas características na sua classe e anote o resultado no caderno.

Em grupos, tabulem os dados presentes na tabela e realizem as etapas abaixo:

- Construam um gráfico de barras para cada uma das características analisadas.
- Para cada característica, calculem a porcentagem de ocorrência de cada variedade analisada para o total de alunos na sala. Construam uma tabela com esses dados calculados.

É fundamental destacar que maior ou menor frequência na população não implicam dominância ou recessividade dos alelos. Estimule os alunos a levantarem os históricos familiares próprios e dos colegas, referentes a essas características, para que levantem hipóteses sobre os padrões de dominância.

Resultados e discussão

Escreva
no caderno

- De acordo com as suas análises, dentre as características analisadas, quais são dominantes e quais são recessivas? Explique.
- Com base nos gráficos, qual(is) característica(s) ocorre(m) com maior frequência entre os alunos de sua classe?
- A que se atribuem os resultados observados? Explique.
- Monte um quadro com as características analisadas e apresente nele o seu fenótipo.

Fonte das informações: Secretaria da Educação do Paraná.
Genética – Levantamento de caracteres genéticos.
Disponível em: <http://www.biologia.seed.pr.gov.br/arquivos/File/praticas/genetica_caracteres.pdf>.
Acesso em: mar. 2016.

Herança citoplasmática

Para se manifestarem, certas características dependem do DNA presente em organelas citoplasmáticas, como cloroplastos e mitocôndrias. O material genético extranuclear não é recebido equitativamente dos genitores masculino e feminino, pois o gameta feminino é, geralmente, maior que o masculino.

Na gametogênese animal, as células formadoras de espermatozoides perdem quase todo o citoplasma quando se convertem em gametas. As células que geram gametas femininos, ao contrário, sofrem significativo aumento de tamanho durante o desenvolvimento. Em consequência, o zigoto recebe quantidade muito maior de material genético extranuclear da mãe que do pai.

Algo parecido ocorre na formação dos gametas femininos dos vegetais, que são muitas vezes maiores que os gametas masculinos. Um padrão de herança citoplasmática observado em alguns vegetais é a formação de folhas variegadas (com manchas claras, como as vistas na **figura 5**). Apenas plantas produtoras de gametas femininos geram descendentes com esse fenótipo; plantas masculinas de folhas variegadas não transmitem a característica para a descendência. Esse fenótipo é determinado pelo DNA presente nos **cloroplastos**, que condiciona a ausência de pigmentos fotossintetizantes.



Figura 5. Planta com folhas variegadas, entre as quais se veem algumas folhas não variegadas (totalmente verdes).

Doenças congênitas e distúrbios hereditários

Doenças congênitas são as que estão presentes ao nascimento da criança, podendo ser hereditárias ou não. Suas causas são as mais diversas: infecções maternas que se transmitem ao feto através da placenta, distúrbios nutricionais, tabagismo ou uso de drogas pela mãe, radiações, doenças determinadas geneticamente, entre outras causas.

A talidomida é um exemplo de droga que provoca malformações congênitas e causa fo-comelia, que condiciona uma série de alterações graves dos membros. Essa droga era usada por mulheres gestantes como tranquilizante e para aliviar náuseas e vômitos. As malformações decorrentes da ação da talidomida são congênitas (pois já estão presentes ao nascimento), mas não são hereditárias.

Devido a seu papel imunomodulador, a talidomida tem sido usada na terapêutica de algumas condições clínicas, como a aids, em pacientes transplantados e no tratamento da hanseníase e da tuberculose.

Rubéola e toxoplasmose são doenças infecciosas, causadas, respectivamente, por vírus e protozoário. Quando mulheres contraem rubéola ou toxoplasmose durante a gestação, seus filhos correm sério risco de desenvolver catarata congênita, malformações cardíacas ou neurológicas.

As doenças provocadas pela talidomida, pela rubéola e pela toxoplasmose são congênitas, mas não hereditárias (ou genéticas). Uma pessoa que possui doença congênita não hereditária pode ter filhos sem a doença, pois ela não tem, em suas células, informação genética que condiciona o aparecimento das deformidades.

Existem doenças congênitas hereditárias (determinadas geneticamente; ver **tabela 1**), como o albinismo, a polidactilia, a doença falciforme e a talassemia. Pessoas acometidas manifestam essas doenças desde o nascimento, porque possuem informações genéticas que as determinam, e podem transmiti-las aos filhos.

Por outro lado, nem toda doença hereditária é congênita. Por exemplo, a doença de Huntington (um distúrbio neurológico) é determinada geneticamente; entretanto, a pessoa não tem sintomas ao nascer. As manifestações começam por volta dos 40 anos, provocando paralisia progressiva e alterações respiratórias, que podem levar à morte.

Algumas dessas doenças têm o prognóstico bastante melhorado com tratamentos e dietas adequadas. É o caso da fibrose cística e da fenilcetonúria.

Tabela 1. Doenças humanas determinadas geneticamente

Alelo dominante	Incidência por milhão	Forma habitual da doença
Hipercolesterolemia familiar	10 000	Concentração plasmática de colesterol elevada
Dentinogênese imperfeita	8 000	Descalcificação dentária
Rim policístico	4 000	Lesões renais
Neurofibromatose	300	Manchas na pele e nódulos subcutâneos
Acondroplastia	100	Nanismo
Doença de Huntington	100	Distúrbios neurológicos e alterações da marcha
Retinoblastoma bilateral	50	Tumor ocular
Distrofia miotônica	50	Catarata e queda palpebral
Doença de Marfan	50	Distúrbios visuais e cardíacos
Alelo recessivo	Incidência por milhão	Forma habitual da doença
Deficiência de alfa-1-antitripsina	850	Distúrbios respiratórios e hepáticos
Surdez congênita	500	Surdez profunda desde o nascimento
Fibrose cística	400	Distúrbio digestivo e respiratório
Síndrome adrenogenital	100	Virilização
Albinismo óculo-cutâneo	100	Falta de pigmentação da pele, dos pelos e dos olhos
Fenilcetonúria	100	Retardo mental, hipopigmentação da pele
Galactosemia	25	Catarata, retardo físico e mental, cirrose
Doença de Tay-Sachs	10	Demência, convulsões, distúrbios visuais

Fontes: SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de Genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. / OTTO, P. G.; OTTO, P. A.; FROTA-PESSOA, O. **Genética humana e clínica**. São Paulo: Roca, 2013. / LIMA, C. P. **Genética humana**. São Paulo: Harbra, 1996.

► Terapia gênica e doenças humanas

A história de David inspirou o filme **O menino da bolha de plástico** (1976), dirigido por Randal Kleiser e estrelado por John Travolta. Trata-se de uma opção para que os alunos conheçam algo sobre a vida desse garoto.

Atualmente, alguns genes humanos podem ser localizados, isolados e clonados. Tal procedimento tem sido usado no tratamento de doenças hereditárias e é conhecido por **terapia gênica** (ou **geneterapia**).

A terapia gênica consiste em modificar o patrimônio genético original das células de um indivíduo, introduzindo nelas um fragmento de DNA que permite sintetizar uma substância que antes não era produzida. Tal introdução é feita com o emprego de um **vetor** capaz de levar o fragmento de DNA às células do doente. Esse vetor pode ser um vírus modificado (**figura 6**), mas processos físicos e químicos também são empregados.

Entre as doenças humanas nas quais a terapia gênica já foi aplicada com sucesso está a síndrome da imunodeficiência grave combinada (cuja sigla em inglês é SCID), forma rara e letal de disfunção do sistema imunológico que torna o portador suscetível a qualquer forma de infecção. Esse distúrbio é causado pela falta de uma enzima, a adenosina desaminase (ADA).

Um dos casos mais comentados de pessoas afetadas pela SCID foi o garoto David, que se tornou conhecido, na década de 1970, como o “menino da bolha”, porque vivia no interior de um ambiente completamente isolado e estéril. David morreu aos 12 anos de idade, após um transplante de células de medula óssea.

A terapia gênica para a SCID começou a ser empregada com sucesso na década de 1990. Além da SCID, a terapia gênica vem sendo testada no tratamento da fibrose cística e da distrofia muscular; esta, uma degeneração do tecido muscular que acomete principalmente meninos, provoca paralisia e acarreta a morte.

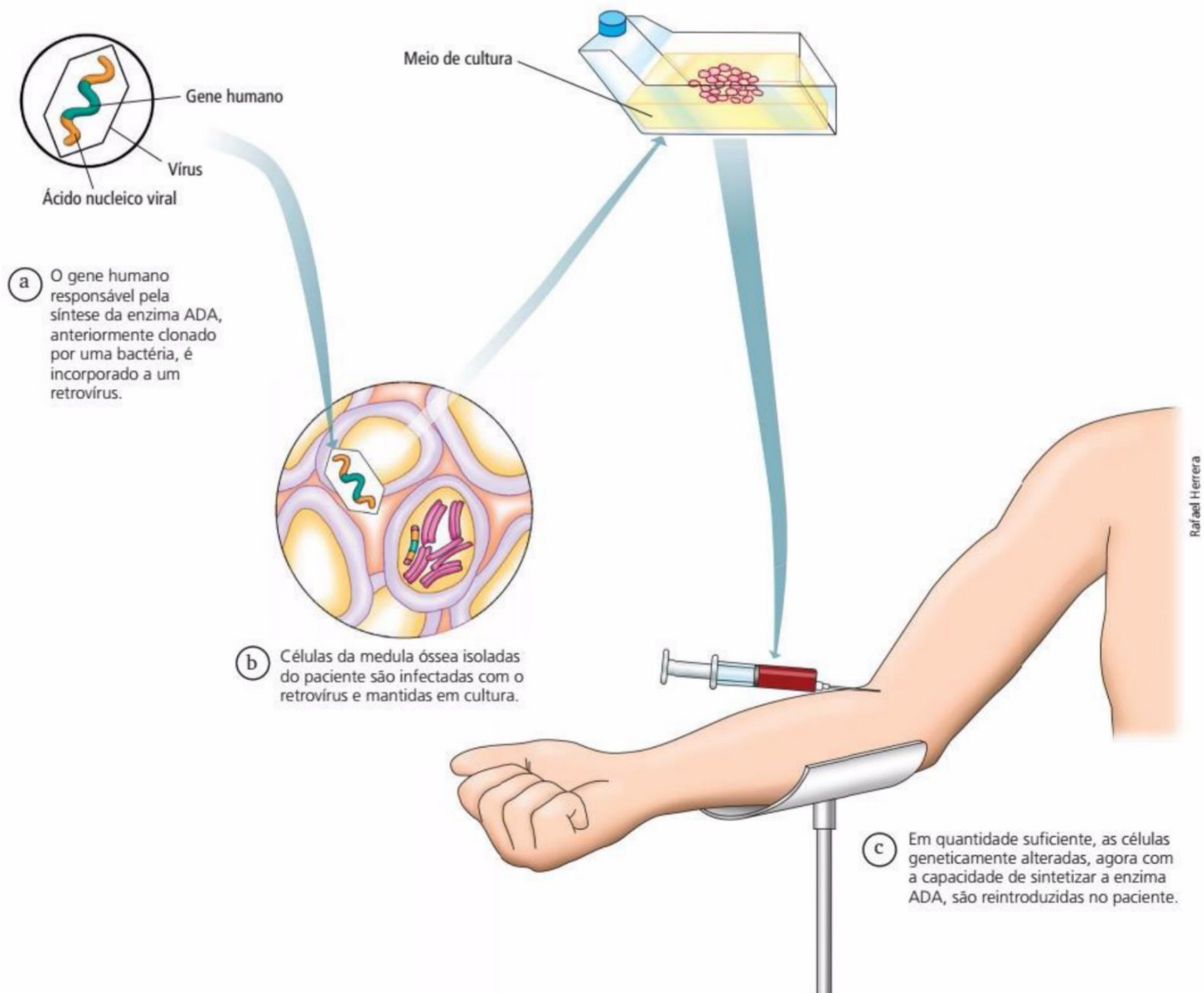
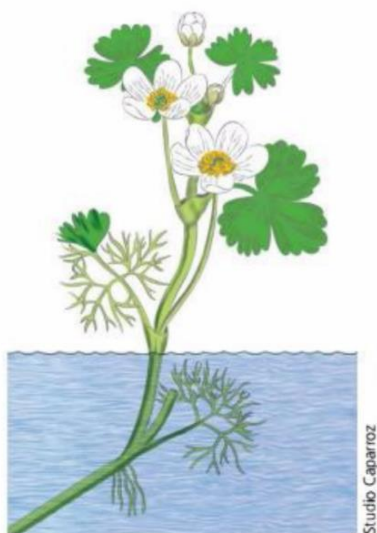


Figura 6. Esquema de terapia gênica no tratamento da SCID. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

- Plantas de milho que crescem em ambientes sem luz são quase brancas e usualmente muito mais altas que plantas geneticamente idênticas a elas; contudo, mantidas sob iluminação normal, são verdes e bem menores. Qual é a explicação mais provável para essa constatação?
- A respeito do material genético, responda:
 - O DNA pode ser encontrado no núcleo celular e em quais outros organelos citoplasmáticos?
 - Diferentemente do que ocorre com o material genético nuclear, explique por que a herança citoplasmática não é recebida equitativamente dos genitores masculinos e femininos.
- (UERJ) Num experimento, foram comparadas as características genótípicas e fenotípicas de células retiradas de um tecido de anfíbio, ainda no estágio de girino, com as de células de tecido similar do mesmo indivíduo após atingir a idade adulta. Explique por que, entre essas células:
 - as características genótípicas são iguais.
 - as características fenotípicas são diferentes.
- (Unicamp-SP) Um criador de cabras, depois de muitos anos nesse ramo, observou que alguns dos animais de sua criação apresentavam uma característica incomum nos chifres. Como o criador poderia fazer para determinar se essa variação é decorrente de uma mutação genética ou de uma alteração causada por fatores ambientais?
- O botão-de-ouro (*Ranunculus aquatilis*) é uma planta que se desenvolve parcialmente submersa. Embora as partes somáticas de uma planta sejam geneticamente idênticas, as folhas que surgem mergulhadas na água são pequenas, finas e ramificadas, enquanto as que aparecem acima da superfície são largas e delgadas.



- Considerando que os tecidos somáticos de uma planta são geneticamente idênticos, como se explica a diferença de aspecto entre as folhas submersas e as folhas aéreas?
 - Do ponto de vista adaptativo, elabore uma hipótese que explique a vantagem dessa diferença.
- Um fazendeiro encontra, entre as ovelhas de sua criação, indivíduos afetados por duas doenças determinadas gene-

ticamente: uma deformidade dos cascos, condicionada por um alelo dominante, e uma anomalia das glândulas mamárias, determinada por um alelo recessivo. Qual doença esse criador poderá eliminar de sua criação com mais facilidade? Justifique.

7. (Vunesp-SP)

O primeiro teste de terapia gênica humana utilizou células sanguíneas, pois estas são de fácil obtenção e de fácil reintrodução no corpo. A paciente foi uma menina com a doença da imunodeficiência combinada severa. Esta criança possuía um sistema imune extremamente deficiente e não podia defender-se contra infecções. Sua doença era a mesma que a do "menino da bolha", que viveu sua curta vida em um ambiente estéril. A causa da doença da menina era um defeito em um gene que codifica a enzima adenosina-desaminase (ADA). Os cientistas do National Institute of Health dos Estados Unidos coletaram sangue da menina, separaram os linfócitos (células brancas) e usaram um retrovírus para introduzir uma cópia correta do gene nestas células. Então eles reintroduziram os linfócitos na paciente. As células alteradas produziram a enzima que faltava e, hoje, a menina é mais saudável do que antes.

Kreuzer, H.; Massey, A. **Engenharia Genética e Biotecnologia**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

- A partir do exemplo apresentado no texto, explique em que consistem, de maneira geral, os tratamentos denominados "terapia gênica".
- Selecione e transcreva o segmento do texto que justifica a afirmação de que a terapia gênica é um exemplo de engenharia genética.

8. (Vunesp-SP)

Nova esperança contra a anemia falciforme

A anemia falciforme é uma doença genética na qual a hemoglobina A, que é produzida pelo organismo após o nascimento, tem sua estrutura alterada, comprometendo sua função no transporte de oxigênio. A cura só é possível por meio do transplante de medula óssea, um procedimento pouco realizado devido à dificuldade de encontrar doadores compatíveis. A esperança vem da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Unesp de Araraquara, onde um grupo de pesquisadores está desenvolvendo um novo medicamento que aumenta a taxa de hemoglobina fetal na corrente sanguínea. A hemoglobina fetal não tem sua estrutura alterada, e poderia suprir as necessidades do paciente no transporte de oxigênio, contudo só é produzida em abundância pelo organismo na idade fetal. O novo medicamento induz sua produção pelo organismo, sem os efeitos colaterais de outros medicamentos já existentes.

(Jornal da Unesp, abril de 2010. Adaptado.)

A reportagem foi lida em sala de aula, e dois alunos, Marcos e Paulo, deram suas interpretações. Segundo Marcos, o novo medicamento, além de promover a cura do paciente, permitirá que as pessoas portadoras de anemia falciforme tenham filhos normais, ou seja, a doença, até então transmitida hereditariamente, deixará de sê-lo. Paulo discordou de Marcos e afirmou que a única possibilidade de cura continua sendo o transplante de medula óssea, situação na qual o indivíduo que recebeu o transplante, além de se apresentar curado, não corre o risco de ter filhos portadores da anemia. Qual interpretação está errada, a de Marcos, a de Paulo, ambas, ou ambas as interpretações estão corretas? Justifique sua resposta.

Para onde vamos?

A natureza de cada pessoa resulta da interação dos genes que ela recebe com os fatores do ambiente em que vive. Por exemplo, sua inteligência manifesta, aquela que o teste de Q.I. mede, depende de seus genes e também das vicissitudes de sua vida. O Q.I. não consegue medir isoladamente a contribuição dos genes, nem a do ambiente.

Desde os tempos das cavernas, tratamos de dar aos nossos filhos a melhor educação e nutrição possíveis e ninguém considera isso intromissão indébita. Atualmente, estamos empenhados, além disso, em preservar a natureza em benefício deles. Ora, as gerações futuras receberão de nós, além dessa herança cultural, seu patrimônio genético. Não será, também, um imperativo ético passar-lhes nossos melhores genes?

Esta preocupação deu origem à eugenia, conjunto de medidas que tendem a melhorar o conjunto de genes das futuras gerações, para que as pessoas venham a ser mais bem-dotadas e mais felizes. Por extensão, também é considerado eugênico diminuir a frequência de afecções genéticas, mesmo que não se consiga reduzir a frequência dos genes que as produzem.

A falta de conhecimentos precisos sobre genética humana, no começo do século [XX], levou o movimento eugênico, nascido de um impulso idealístico e humanitário, a um terrível acidente de percurso, que o levou a propugnar esterilizações compulsórias e o pôs a serviço do ideário racista [...].

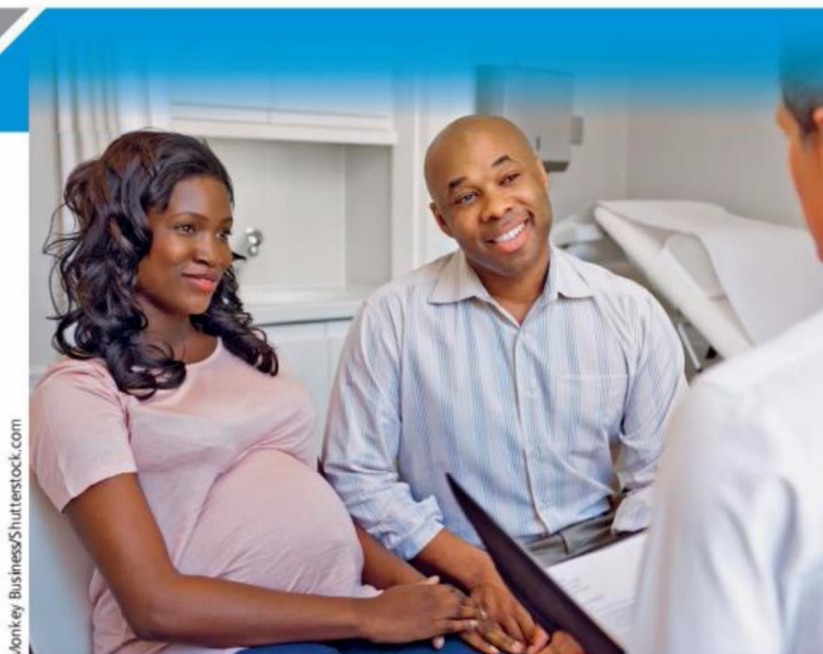
[...] já é possível desentranhar a eugenia do contexto absurdo em que foi submergida e reconhecer que ela é ética e meritória, desde que:

- a) respeite rigorosamente os direitos humanos individuais e coletivos, principalmente em matéria de planejamento reprodutivo; e
- b) se baseie, em cada fase, em conhecimento científico perfeitamente consolidado.

Na verdade, expurgadas da contaminação que sofreram, medidas eugênicas vêm sendo difundidas no mundo civilizado, há várias décadas, sob aplauso geral. Antes de examiná-las, é importante, porém, estabelecermos claramente suas relações com a bioética. [...]

As doenças total ou parcialmente genéticas tendem a ocorrer mais de uma vez na mesma família. Por isso, quando ocorre um caso, é de interesse dos parentes conhecer o risco de uma nova criança nascer afetada. Faz-se, então, o aconselhamento genético, que consiste no diagnóstico da afecção, na determinação de até que ponto ela é decorrente dos genes ou do ambiente e na explicação sobre os riscos de que ocorra novamente na família.

Ante um risco de alta recorrência de afecção, muitos casais decidem não procriar. Esta atitude, tomada para benefício da família,



A principal função do aconselhamento genético é orientar com clareza sobre o risco de ocorrência de doenças hereditárias.

redunda em medida eugênica, embora não intencional, pois limita a difusão de genes nocivos.

Quando a gestação já começou e há suspeita de que o feto tenha um defeito genético, é possível, em certos casos, fazer o diagnóstico pré-natal. Se o casal, usando de seu livre-arbítrio, decide, ante a gravidade da afecção, interromper a gestação, estará também adotando uma medida de repercussão eugênica. [...]

Se conseguirmos reduzir a incidência de casamentos consanguíneos na população, por meio de uma campanha esclarecedora, estaremos diminuindo a frequência de vítimas de genes autossômicos recessivos, o que é eugênico, já que a população terá menos afetados, embora a frequência desses genes aumente.

Deve-se, pois, ensinar nas escolas, como medida eugênica, que, quando os pais são primos em primeiro grau, o risco para o filho de apresentar defeitos ou doenças graves é de cerca de 10%, contra 4%, se o casal não é consanguíneo. Estimamos [...] que, em 1970, nasceram no Brasil cerca de 3 600 crianças com defeitos ou doenças genéticas graves, que não nasceriam se não ocorressem uniões entre primos em primeiro grau. Vinte anos antes, esse número chegava a 5 400, embora a população fosse menor, porque as uniões consanguíneas eram mais frequentes.

Situação análoga ocorre com as triagens populacionais para detectar heterozigotos de genes recessivos, como os da siclemia e da doença de Tay-Sachs, e desencorajar casamentos entre heterozigotos. Elas contribuem para diminuir o número de homozigotos afetados, mas a frequência dos genes respectivos tende a crescer. [...]

FROTA-PESSOA, O. *Para onde vamos?* São Paulo: Departamento de Biologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 1997. Textos selecionados. Disponível em: <www.ib.usp.br/textos/paraonde>. Acesso em: mar. 2016.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Comente a seguinte afirmativa: São muito tênues os limites que separam a eugenia e o racismo.
2. Discuta o papel do ideal eugênico na instauração do nazismo na Europa, na primeira metade do século XX.
3. O texto diz: “Situação análoga ocorre com as triagens populacionais para detectar heterozigotos de genes recessivos, como os da siclemia [ou doença falciforme] e da doença de Tay-Sachs, e desencorajar casamentos entre heterozigotos”. Comente essa medida e compare-a com a orientação para que esses casais, caso venham a se estabelecer, evitem filhos.

Bases da hereditariedade

Herança de um par de alelos

T. Fernandes/Fotoarena



Criança albina na ilha dos Lençóis (MA), 2008.

Os filhos da Lua

No litoral do Maranhão, a 150 km de São Luís, fica a ilha dos Lençóis, onde vivem cerca de 500 habitantes. A ilha é conhecida pela alta frequência de albinos entre os habitantes: são 3% dos moradores, enquanto na população em geral essa frequência é de 0,006%.

O albinismo decorre da deficiência de enzimas importantes na produção da melanina, pigmento que dá cor à pele, aos cabelos e à íris. Como a melanina protege a pele dos raios solares, os albinos estão mais sujeitos aos danos causados pelo ultravioleta e precisam se proteger mais, tanto do sol quanto de fontes artificiais dessa radiação.

No início do século XX, algo parecido ocorria entre os habitantes das ilhas San Blas, na costa do Panamá. Como precisavam se proteger do sol, era difícil para os homens albinos praticarem a pesca, atividade habitualmente dedicada a eles. Os albinos de San Blas resolveram essa questão trabalhando à noite! A atividade dos pescadores noturnos daquelas ilhas passou a ser valorizada pelo conjunto da população e se incorporou às tradições e ao folclore local.

Outro exemplo ilustra como uma comunidade pode lidar com a existência de alguma diferença entre seus membros: a população da ilha Martha's Vineyard, na costa leste dos Estados Unidos, é conhecida há mais de dois séculos pela elevada frequência de surdez congênita entre seus membros. Em resposta a essa particularidade, a maioria da população local tornou-se bilíngue, utilizando a língua nativa (o inglês) e a linguagem dos sinais.

O professor Sadao Omote¹ destaca a opinião de uma moradora de Martha's Vineyard quando afirma que a diferença entre o ouvinte e o surdo é como a diferença entre ter olhos castanhos ou olhos azuis. Ele lembra ainda a fala de outro ilhéu que, perguntado sobre a deficiência associada à surdez, respondeu que os surdos não eram deficientes, apenas surdos.

Esses exemplos demonstram como a comunidade pode, diante de uma diferença apresentada por alguns de seus membros, adotar estratégias que minimizem ou anulem os efeitos dessa diferença, permitindo que todos participem igualmente da vida em comunidade. Assim, convive-se com a diferença sem que ela represente desvantagem.

Albinos montam time de futebol para escapar da morte na África

Em regiões da Tanzânia, eles são caçados porque partes de seus corpos são valorizadas em rituais de curandeirismo. O esporte está ajudando a mudar esta realidade

Um grupo de albinos resolveu apostar no esporte mais popular do planeta para colocar um ponto final no rol de tradições brutais que ainda sobrevivem em certas regiões da África Oriental. Em algumas áreas rurais de países como Tanzânia e Burundi, albinos são caçados e têm o corpo retalhado para ser vendido aos fornecedores de produtos para mandingas. As partes mais valorizadas podem atingir até US\$ 5 mil.

— Muitas pessoas acreditam que você pode se tornar rico com partes do corpo de um albino. Algumas crenças partem do pressuposto que cortar ou matar não é crime, porque os albinos são insignificantes, não são humanos, explicou Ernest Kimaya, presidente da Sociedade dos Albinos da Tanzânia. [...]

Nos últimos cinco anos, 75 albinos foram mortos na Tanzânia. Outros 200 tiveram partes dos corpos amputadas. [...] No meio dessa tormenta, um empresário da cidade de Dar es Salaam teve uma ideia inusitada: montar um time de albinos. A agremiação inovadora ganhou o nome de "Albino United".

— Eu criei o time depois de uma série de assassinatos. Pensei: se tivéssemos uma equipe de futebol de albinos, poderíamos mostrar que eles são pessoas normais, como eu e você. O futebol é um meio interessante para passar mensagens, porque o mundo inteiro ama futebol e presta atenção no que vem dos campos.

Os 40 milhões de habitantes da Tanzânia estão divididos em mais de 130 tribos, muitas delas apegadas a antigas tradições. Será que um simples time de futebol pode mudar uma realidade tão complexa? Como um time de albinos pode combater tanto terror?

Portal **Esporte Espetacular**. Disponível em: <<http://globoesporte.globo.com/programas/esporte-espetacular/noticia/2011/01/albinos-montam-time-de-futebol-para-escapar-da-morte-na-africa.html>>. Acesso em: mar. 2016.

¹ OMOTE, S. Estigma no tempo da inclusão. *Revista Brasileira de Educação Especial*, v. 10, n. 3, set.-dez. 2004.

Os trabalhos de Mendel

Os trabalhos de Mendel (**figura 1**), realizados há quase dois séculos, continuam sendo a base da genética; tudo o mais decorreu desses estudos pioneiros, executados pacientemente e com rigor matemático. Concentrando-se em uma ou algumas características contrastantes de plantas de ervilhas-de-cheiro ou ervilhas-de-jardim (*Pisum sativum*), em um programa de cruzamentos controlados no mosteiro agostiniano de São Tomás, na cidade de Brno (atualmente na República Tcheca), e sugerindo “fatores” causais, hoje chamados de genes, Mendel estabeleceu os fundamentos para o desenvolvimento dos atuais conceitos de hereditariedade.



Figura 1. Gregor Johann Mendel (1822-1884), monge agostiniano nascido em um vilarejo da Silésia, atualmente na República Tcheca.

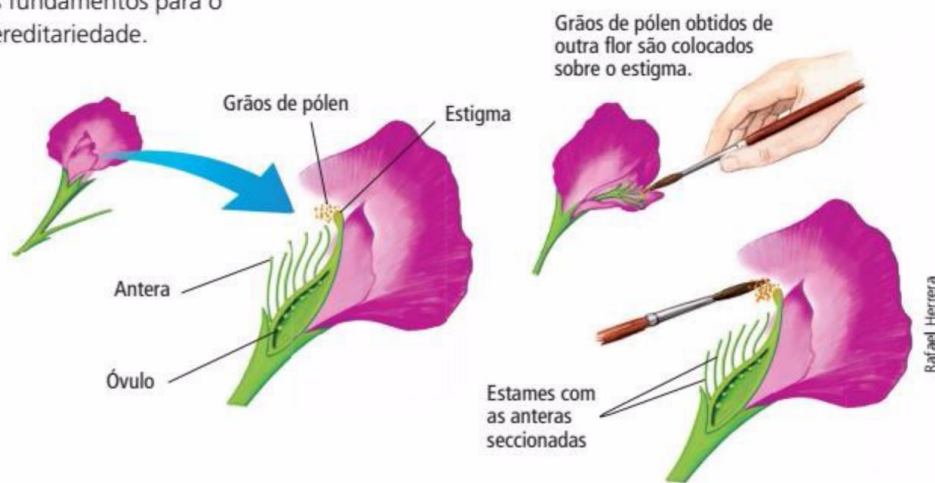
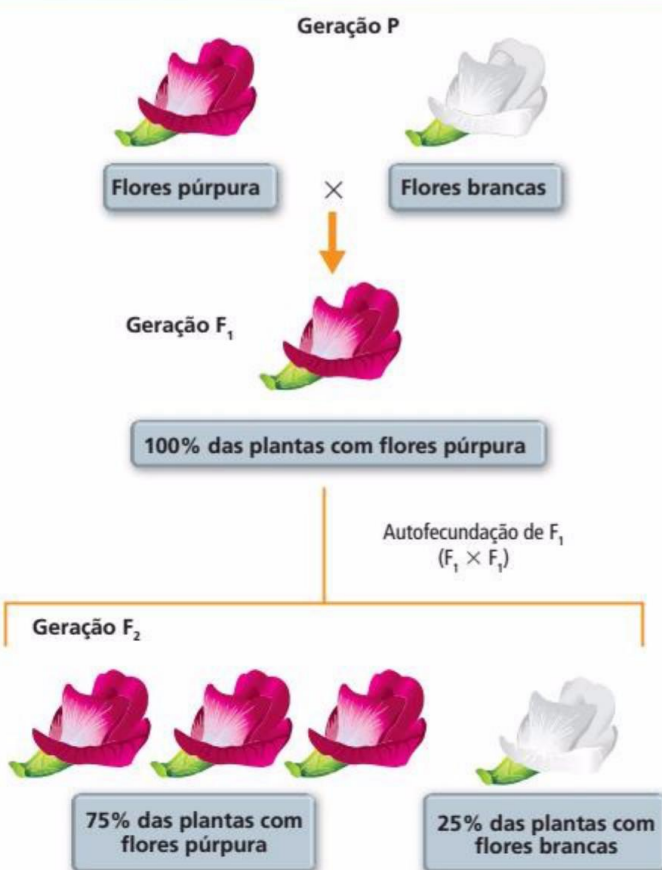


Figura 2. Flor de ervilha-de-jardim: o pólen é produzido nas anteras e desenvolve-se sobre o estigma do gineceu, que é o sistema reprodutor feminino da flor. Removendo as anteras (parte do sistema reprodutor masculino) de certas flores, Mendel impedia que elas se autofecundassem. Com um pincel, retirava pólen de outras flores, transferindo-o para o sistema reprodutor feminino daquelas sem antera, promovendo artificialmente uma fecundação cruzada. Dessa forma, obtinha completo controle dos resultados dos cruzamentos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Lei da segregação dos fatores

Ilustrações: Luiz Rubio



Atualmente, reserva-se a palavra *híbrido* para indivíduos resultantes do cruzamento entre organismos de espécies diferentes.

Mendel iniciou seus trabalhos com **linhagens puras**, isto é, plantas que, por autofecundação, só originavam descendentes iguais a elas mesmas em relação a determinadas características. Depois, passou a efetuar fecundação cruzada entre plantas de linhagens puras que diferiam apenas em uma característica, como a altura ou a cor das sementes, chamando de **híbridos** os descendentes desses cruzamentos. O cruzamento entre indivíduos puros que são diferentes em uma ou mais características é chamado **hibridização** (ou hibridação).

O mono-hibridismo ocorre quando se analisam descendentes de um cruzamento entre indivíduos que diferem em uma característica.

A geração inicial, constituída por indivíduos puros e de fenótipos distintos (plantas com flores de cor púrpura e plantas com flores de cor branca, por exemplo), é a **geração parental** (ou geração P). Seus descendentes formam a **primeira geração filial** (ou geração F₁). Autofecundadas, as plantas da geração F₁ produzem a **segunda geração filial** (ou geração F₂) (**figura 3**).

Assinale a importância de Mendel ter estudado características com **fenótipos contrastantes** (ou seja, de fácil identificação).

Figura 3. Padrão de herança do fenótipo da cor das flores.

Nesta obra, a adoção do termo “cruzamento” refere-se ao **cruzamento genético**, isto é, ao cruzamento entre os conjuntos de genes de cada um dos genitores, transmitidos aos filhos e filhas. Nesse sentido, no caso de seres humanos, será mantida a palavra “cruzamento”, usada na literatura da área como sinônimo de reprodução sexuada. O uso da palavra “casamento” (ainda que habitual em atividades de genética, particularmente em vestibulares) deve ser evitado, por não contemplar as diversas formas de organização familiar.

Tais resultados repetiram-se em F_1 e em F_2 para todas as características estudadas por Mendel.

Dois fatos chamam a atenção:

- Na geração F_1 , “desaparecem” as plantas de flores brancas.
- Na geração F_2 , essas plantas ressurgem em todos os cruzamentos, na proporção de 3 : 1 (ou seja, três plantas com flores púrpura para cada planta com flores brancas).

Para explicar os resultados encontrados, Mendel apresentou as seguintes hipóteses:

- Cada característica de um organismo é condicionada por um par de fatores alternativos, sendo um deles proveniente do pai (por intermédio do gameta masculino) e o outro, da mãe (via gameta feminino). Quanto à cor das flores, por exemplo, um fator determina flores de cor púrpura e outro, flores de cor branca (**tabela 1**).
- Quando dois fatores são diferentes, apenas um (o dominante) se manifesta; o outro (recessivo) permanece encoberto.
- Os dois fatores separam-se na formação dos gametas, que são sempre puros, ou seja, cada gameta contém apenas um fator de cada par.

A reunião dessas conclusões compõe a **primeira lei de Mendel**, também conhecida por lei da pureza dos gametas ou lei da segregação dos fatores: “Cada característica é determinada por um par de fatores, que se segregam durante a formação dos gametas, os quais sempre são puros”.

Tabela 1. Características estudadas por Mendel em ervilhas-de-cheiro e resultados na geração F_2

Característica	Dominante	Recessiva
Textura da semente	3 lisas 	1 rugosa 
Cor da semente	3 amarelas 	1 verde 
Forma da vagem	3 infladas 	1 constricta 
Cor da vagem	3 verdes 	1 amarela 
Cor da flor	3 púrpura 	1 branca 
Posição da flor	3 axiais 	1 terminal 
Comprimento dos ramos	3 longos 	1 curto 

Ilustrações: Luiz Rubbo

A notícia

Você se lembra do Mendel? [...] Passei algumas das horas mais divertidas da minha adolescência aprendendo a juntar “azão” com “azinho” e vislumbrando os mistérios dos genes dominantes e recessivos. E se os resultados seminais desse sacerdote da atual República Tcheca, conhecido como o pai da genética moderna, na verdade fossem meio esquisitos? E se o título mais adequado para ele fosse o de pai da má conduta científica moderna?

Por incrível que pareça, a controvérsia existe desde o comecinho do século passado, ainda que livros didáticos não costumem mencioná-la.

É o que conta Gregory Radick, historiador da Universidade de Leeds (Reino Unido), em artigo na **Science**. Ocorre que o trabalho de Gregor Mendel com as celeberrimas ervilhas híbridas, de 1866, caiu no esquecimento por décadas. Foi só em

Malabarismos mendelianos

1900 que a obra do frade passou a ser relida e replicada. No meio do caminho, porém, havia um tal Raphael Weldon, que tomou contato com os experimentos mendelianos em outubro daquele ano.

Um dos pioneiros da aplicação de métodos estatísticos precisos ao estudo da Biologia, o britânico Weldon começou a achar que havia algo de muito esquisito nos números dos experimentos de Mendel. Talvez você se lembre de que, além das ervilhas amarelas e verdes, o padre também estudava ervilhas lisas e rugosas. Primeiro, ele cruzou ervilhas lisas com rugosas e, mais tarde, cruzou as ervilhas híbridas, resultado desse cruzamento, entre si.

Conclusão: de um total de 7324 ervilhas geradas nesse segundo cruzamento (haja paciência e vista boa para contar tanta ervilha), 5474 eram lisas (por carregarem ao menos uma cópia do gene

dominante para “lisura”, como dizemos hoje).

E daí? Daí que o número fica muito perto de ser uma proporção exata de 75% de ervilhas híbridas de segunda geração lisas, valor que era precisamente o previsto pela teoria de Mendel. Weldon aplicou técnicas estatísticas aos dados e concluiu que eles estavam arrumadinhos demais – o esperado seria haver desvios estatísticos mais claros em relação ao resultado previsto pela teoria. [...] E resumiu a situação numa carta a um colega: “Ou ele [Mendel] é um mentiroso, ou é um homem maravilhoso”. Até sua morte, em 1906, Weldon continuou não engolindo as ervilhas.

O fato é que, apesar de tudo, a visão de Mendel acabou triunfando entre os biólogos, ainda que os resultados experimentais raramente fossem tão certinhos quanto os dele. [...]

LOPES, R. J. Malabarismos mendelianos. **Folha de S.Paulo**, 11 out. 2015. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/reinaldojoselopes/2015/10/1692821-malabarismos-mendelianos.shtml>>. Acesso em: abr. 2016.

Atividades

Escreva no caderno

Depois de ler a notícia, responda:

1. Em linhas gerais, qual era a razão da desconfiança de Raphael Weldon em relação aos trabalhos de Mendel?
2. As suspeitas levantadas por Weldon foram suficientes para desacreditar Mendel?

No texto, o autor usa incorretamente a palavra “gene” para se referir a “alelo”, uma forma alternativa do gene.

▶ Atualizando os trabalhos de Mendel

Os fatores definidos por Mendel atualmente são chamados **alelos** e separam-se durante a meiose. As plantas que Mendel denominou **puras** são as **homozigotas**. Nas plantas homozigotas com flores púrpura, há dois alelos para flores púrpura; nas plantas homozigotas com flores brancas, dois alelos para flores brancas. As que Mendel chamou **híbridas** são as **heterozigotas**, as quais possuem um alelo de cada tipo e flor púrpura, que é o fenótipo dominante, uma vez que flor branca é o fenótipo recessivo.

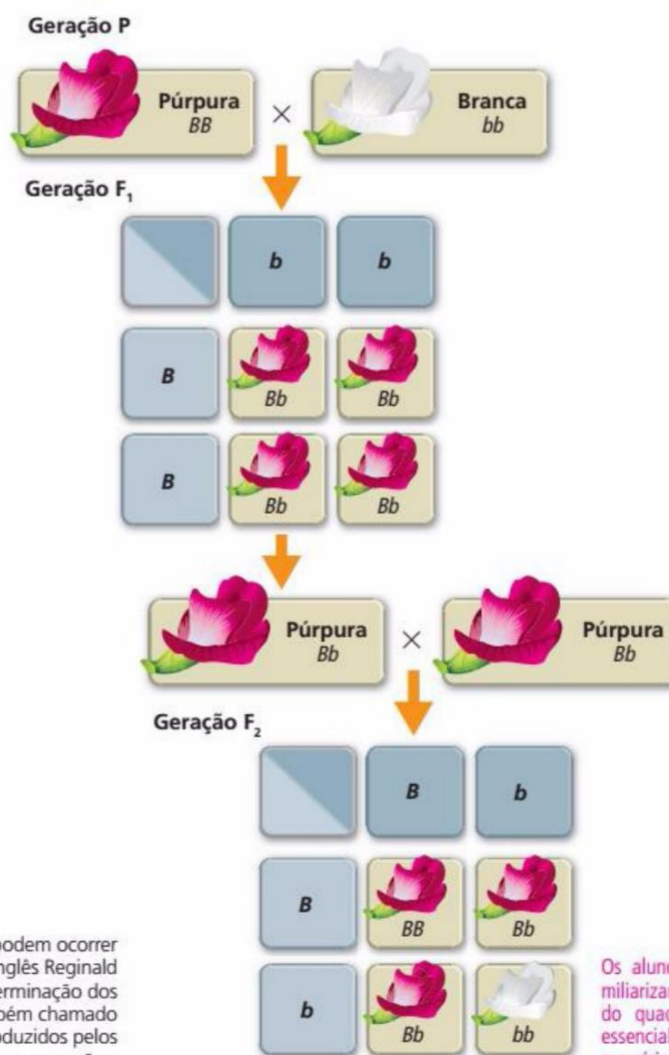
Escolheu-se a letra *B* para simbolizar o alelo dominante (que determina flores púrpura) e *b* para o alelo recessivo (que condiciona flores brancas). A relação de dominância é representada por: $B > b$.

Por terem apenas um tipo de alelo, as plantas homozigotas produzem gametas que contêm somente esse alelo. As plantas de genótipo *BB* só produzem gametas com o alelo *B*; as de genótipo *bb*, apenas gametas com o alelo *b*. Os heterozigotos recebem o alelo *B* de um dos genitores e o alelo *b* do outro, gerando dois tipos de gametas, em iguais proporções: com a separação dos alelos do par *Bb*, 50% dos gametas formados têm o alelo *B*, e os restantes 50%, o alelo *b*.

Na geração F_1 , 100% dos descendentes têm flores púrpura, pois exibem o mesmo genótipo e fenótipo. Na geração F_2 , encontra-se a proporção de três plantas com flores púrpura para cada planta com flores brancas; são encontrados ainda três genótipos diferentes: 25% dos descendentes são homozigotos dominantes (genótipo *BB*), 50% são heterozigotos (genótipo *Bb*) e 25% são homozigotos recessivos (genótipo *bb*).

Essas combinações explicam os resultados obtidos por Mendel na geração F_2 , em que plantas de genótipos *BB* e *Bb* exibem o mesmo fenótipo (flores púrpura) e apenas as plantas de genótipo *bb* têm flores brancas (figura 4).

Visualiza-se a primeira lei de Mendel em ação no momento da separação dos cromossomos homólogos, que ocorre na anáfase I da meiose, quando se segregam os alelos para determinada característica. Mesmo sem conhecimentos acerca do comportamento cromossômico nos processos de divisão celular, Mendel havia proposto essa ocorrência.



Ilustrações: Luiz Rubio

Figura 4. Na geração F_2 , todas as combinações de gametas podem ocorrer com igual probabilidade. No início do século XX, o geneticista inglês Reginald Punnett (1875-1967) idealizou o diagrama que facilita a determinação dos genótipos em um cruzamento. O quadrado de Punnett (também chamado xadrez mendeliano), visto na figura, indica os gametas produzidos pelos genitores, os descendentes e suas proporções.

Os alunos precisam se familiarizar com a elaboração do quadrado de Punnett, essencial na resolução de exercícios de genética.

É costume referir-se a essas combinações como uma **proporção genotípica** de 1 : 2 : 1 ou $\frac{1}{4} : \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ e **proporção fenotípica** de 3 : 1 ou $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$.

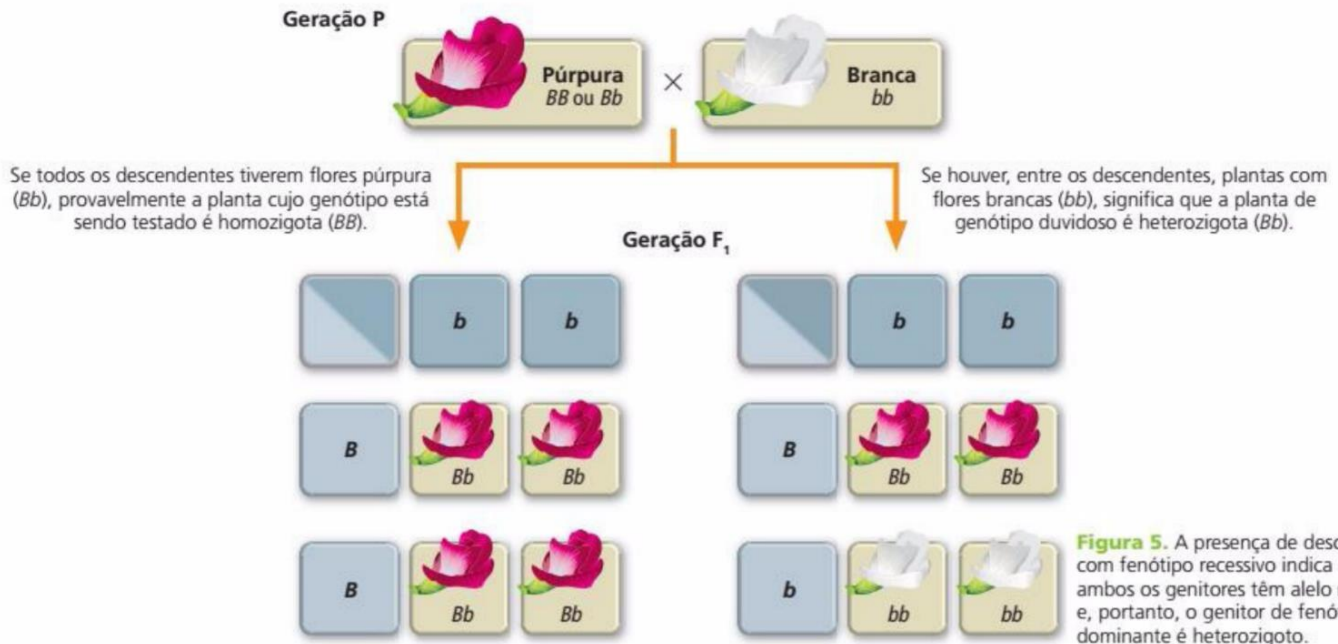
► Cruzamento-teste

É interessante diferenciar cruzamento-teste e retrocruzamento.

O genótipo de um indivíduo que exibe o fenótipo recessivo é facilmente determinado; por exemplo, as plantas de ervilha com flores brancas certamente apresentam genótipo bb , pois o fenótipo recessivo só se manifesta quando há dois alelos recessivos no genótipo. Contudo, isso não vale para o indivíduo que exibe o fenótipo dominante. As plantas com flores púrpura, por exemplo, podem ser homozigotas (BB) ou heterozigotas (Bb).

Um procedimento adequado para determinar o genótipo de um indivíduo com o fenótipo dominante é o **cruzamento-teste**, que consiste em cruzar esse indivíduo com o de fenótipo recessivo (portanto de genótipo conhecido) e analisar a descendência.

Por exemplo, ao se cruzar uma planta de ervilha com flores púrpura (BB ou Bb) com uma planta com flores brancas (bb), dois tipos de resultados são possíveis na descendência (**figura 5**).



Ilustrações: Luiz Rubio

Figura 5. A presença de descendentes com fenótipo recessivo indica que ambos os genitores têm alelo recessivo e, portanto, o genitor de fenótipo dominante é heterozigoto.

► Mapas familiares

O mapa familiar (também conhecido como **heredograma**, genealogia ou *pedigree*) é uma forma de acompanhar a herança de determinada característica (frequentemente algum tipo de anomalia) ao longo das gerações em uma família, por meio de um conjunto de símbolos (**figura 6**).

□ ou ♂	Sexo masculino
○ ou ♀	Sexo feminino
◇	Sexo desconhecido
■ ou ●	Indivíduo que manifesta a variação em estudo
□? ou ○?	Dúvidas sobre a confiabilidade da informação
◐ ou ◑	Indivíduo heterozigoto para certo gene

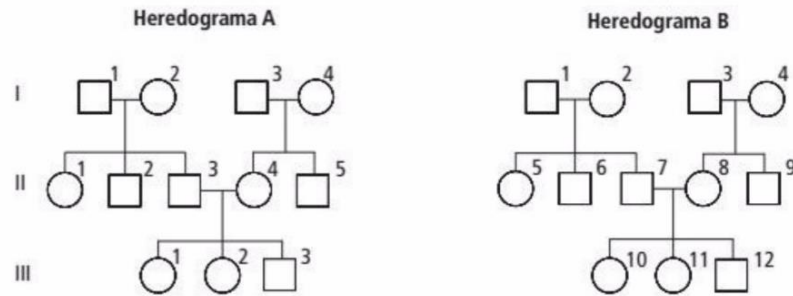
□—○	Cruzamento (ou casal)
□=○	Cruzamento consanguíneo
□ □ ou ○ ○	Gêmeos idênticos
□ □ ou ○ ○ □ ○	Gêmeos fraternos

Ilustrações: Editora de arte

Figura 6. Símbolos habitualmente usados na elaboração de heredogramas.

► O símbolo **masculino** (♂) foi inspirado no escudo de Marte, o deus romano da guerra, enquanto o símbolo **feminino** (♀) foi inspirado no espelho de Vênus, a deusa romana da beleza e do amor.

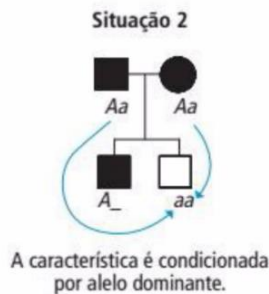
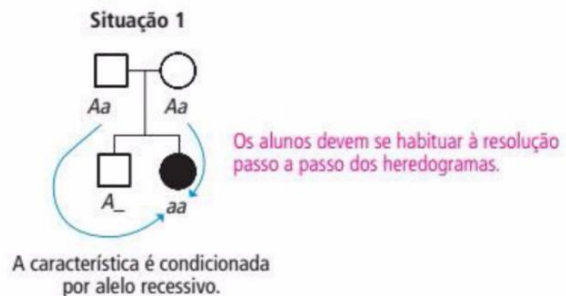
As diversas gerações são representadas de forma sobreposta (as mais antigas em posição superior) e indicadas por algarismos romanos (I, II, III etc.). Dentro de cada geração, os indivíduos são indicados por algarismos arábicos (1, 2, 3, 4 etc.) da esquerda para a direita (heredograma A). Outra maneira é numerar todos os indivíduos em ordem crescente, a partir do primeiro acima e à esquerda (heredograma B).



Ilustrações: Editora de arte

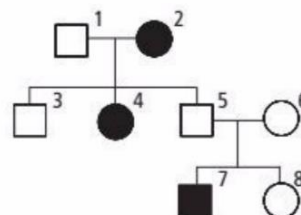
A interpretação de um heredograma é efetuada em etapas:

- **Determinação da dominância ou recessividade.** No heredograma, devem ser procurados casais em que ambos os indivíduos exibem o mesmo fenótipo e que têm descendente(s) com fenótipo diferente. Se o fenótipo exibido pelo descendente não se manifesta nos pais, deve ser condicionado pelo alelo recessivo.



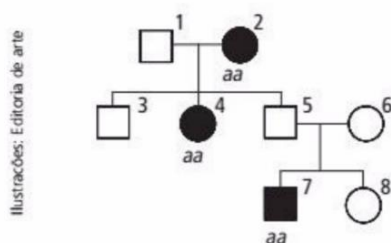
- **Localização dos homozigotos recessivos.** Uma vez determinados o alelo dominante e o recessivo, localizam-se os homozigotos recessivos: apenas eles (e todos eles) manifestam o fenótipo recessivo.
- **Determinação dos demais genótipos.** Podem ser determinados os genótipos dos indivíduos que exibem o fenótipo dominante, considerando-se que um homozigoto recessivo recebeu um alelo de cada um dos pais e que transmite o alelo recessivo para todos os seus descendentes. Eventualmente, os genótipos de alguns indivíduos não são determinados, podendo ser homozigotos dominantes ou heterozigotos. Usa-se A_{-} para indicar um indivíduo que pode ter genótipo AA ou Aa .

No heredograma seguinte, por exemplo, estão assinalados os indivíduos afetados por uma doença hereditária.

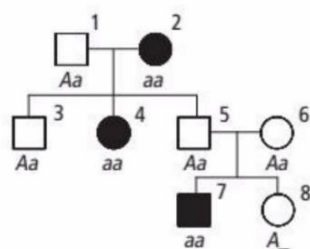


É necessário, inicialmente, determinar se a característica em questão é condicionada por alelo dominante ou recessivo. Para isso, é observado o casal 5-6: ambos são normais para certa característica, mas tiveram uma criança afetada. Portanto, essa característica é determinada pelo alelo recessivo, pois permaneceu oculta nos pais (5 e 6), manifestando-se somente em um de seus descendentes (7).

Podem-se agora identificar os genótipos dos componentes do heredograma usando-se a seguinte notação para indicar esse par de alelos: A determina o fenótipo normal; a condiciona a doença. O próximo passo é a localização dos homozigotos recessivos. Todos os indivíduos afetados devem ter genótipo aa .



A partir desses genótipos, podem-se descobrir os demais. O indivíduo 1 é heterozigoto Aa , pois é normal, mas tem uma filha afetada (a mulher 4). Os homens 3 e 5 também são heterozigotos, porque são normais e só podem ter recebido da sua mãe o alelo a . A mulher 6 tem genótipo Aa , porque é normal, e teve um filho afetado. A mulher 8 pode ser homozigota dominante AA ou heterozigota Aa , pois é filha de heterozigotos; desse modo, deixa-se seu genótipo indicado por A_{-} .



Imaginemos que o casal 5-6 procure um serviço de aconselhamento genético para saber a probabilidade de ter, na próxima gestação, uma criança com a doença. Sabe-se que os indivíduos 5 e 6 são heterozigotos. Sua possível descendência está esquematizada no diagrama a seguir.



Analisando esse cruzamento, podemos concluir que crianças afetadas correspondem a indivíduos de genótipo aa , cuja probabilidade de aparecimento é de $\frac{1}{4}$ ou 25%.

Atividade prática

Análise da frequência dos genótipos ao longo das gerações

Objetivo

- Simular a primeira lei de Mendel e observar as frequências genotípicas e fenotípicas ao longo das gerações.

Materiais

48 pinos mágicos (jogo plástico de armar, encontrado em lojas de brinquedos e supermercados) de duas cores (24 de cada cor, sendo que uma representará o alelo B e a outra representará o alelo b); duas urnas escuras para sorteio (sugestão: saco de pano); três recipientes (pratos rasos descartáveis); papel, caneta e fita adesiva.

Escolheu-se a letra B para simbolizar o alelo que determina flores púrpura em homozigose e b para o alelo que condiciona flores brancas em homozigose. As plantas heterozigotas, ou híbridas, têm um alelo de cada tipo e flores púrpura.

Procedimentos

- Obtenção de F_1

Identifique os três recipientes, cada um com um genótipo: BB , Bb e bb .

Coloque todos os pinos de uma só cor em uma urna e todos os pinos da outra cor em outra urna. Comece o sorteio retirando simultaneamente um pino de cada urna. Todos observam o resultado e um aluno registra em uma tabela o fenótipo (flores púrpura ou flores brancas) e o genótipo correspondente. Em seguida, coloque cada dupla de pinos no recipiente correspondente ao seu genótipo, sem sepa-

Verifique com os alunos se em casa eles dispõem dos pinos plásticos e urnas para trazer para a aula. Em caso positivo, os alunos poderão ser divididos em grupos e a atividade realizada por cada grupo. Ao final, os grupos deverão comparar os resultados obtidos e discutir suas conclusões. Caso não tenham os pinos, os alunos poderão substituí-los por botões ou sementes, agrupando-os por cor, tipo ou forma.

rá-las. Repita o mesmo procedimento até retirar todos os pinos das urnas. Observe os resultados do genótipo e do fenótipo obtidos na geração F_1 . Registre-os em seu caderno.

- Obtenção de F_2

Em seguida, divida igualmente os pinos “descendentes” obtidos na geração F_1 nas duas urnas (Atenção: não separe os pinos por cor — cada dupla de pinos representa um descendente e por isso a divisão nas urnas deve ser feita entre os descendentes, ou seja, 12 pares em cada urna).

Mexa bem as urnas para misturar os pinos e inicie o próximo sorteio, que representa a geração F_2 . Um aluno deve retirar aleatoriamente e simultaneamente um pino de cada urna. Todos observam o resultado e um aluno registra em uma tabela o fenótipo (flores púrpura ou flores brancas) e o genótipo correspondente. Em seguida coloque os pinos no recipiente correspondente ao seu genótipo. Repita o mesmo procedimento até retirar todos os pinos das urnas. Observe os resultados do genótipo e do fenótipo obtidos na geração F_2 . Responda em seu caderno às questões que seguem.

Resultados e discussão

Escreva
no caderno

- Quais os genótipos e fenótipos dos descendentes obtidos na geração F_1 ? Explique.
- Quais os genótipos e fenótipos dos descendentes obtidos na geração F_2 ? Explique.
- Quais as proporções genotípicas encontradas em F_1 e em F_2 ?
- Com base em suas observações, qual fenótipo é dominante? E qual é recessivo?

Fonte das informações: <<http://portal.dop professor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1954>>. Acesso em: abr. 2016.

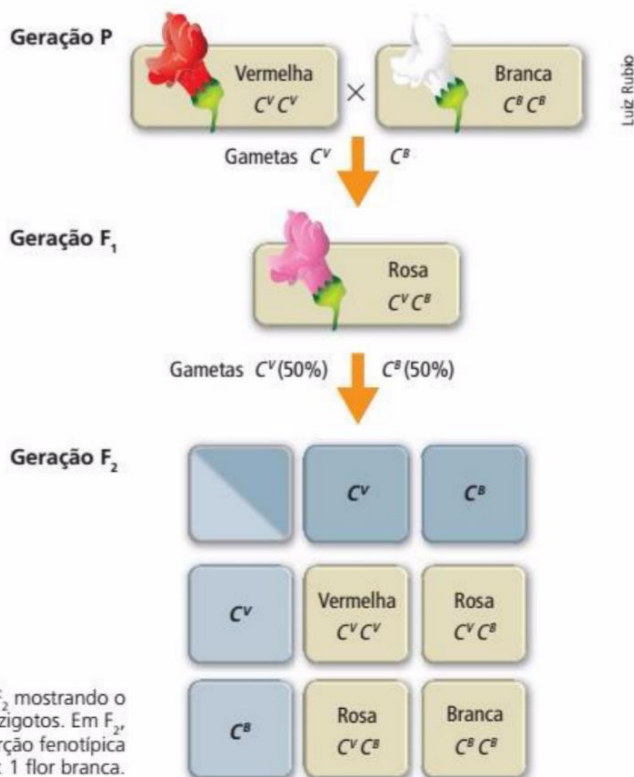
Variações da primeira lei de Mendel

Ausência de dominância

A **ausência de dominância** ocorre quando um alelo não domina o outro e, em consequência disso, o heterozigoto apresenta fenótipo diferente do exibido pelos homozigotos. Apresentaremos dois casos:

Na **dominância incompleta**, o heterozigoto manifesta fenótipo intermediário entre aqueles condicionados pelos alelos em homozigose. A planta boca-de-leão, por exemplo, tem duas linhagens homozigotas: uma com flores vermelhas e outra com flores brancas. Quando cruzadas, os descendentes (heterozigotos) exibem flores cor-de-rosa. Por não se manifestar relação nítida de dominância, a representação dos alelos é feita de forma diferente da habitual: C^V é o alelo que condiciona flores vermelhas, C^B é o alelo que determina flores brancas. A ausência de dominância completa é assim indicada: $C^V = C^B$. Se plantas com flores cor-de-rosa forem autofecundadas, a descendência apresentará 25% de plantas com flores vermelhas, 50% de plantas com flores cor-de-rosa e 25% de plantas com flores brancas (figura 7).

Figura 7. Cor das flores de boca-de-leão: gerações P , F_1 e F_2 mostrando o fenótipo intermediário (flores cor-de-rosa) exibido pelos heterozigotos. Em F_2 , a proporção genotípica é de 1 $C^V C^V$: 2 $C^V C^B$: 1 $C^B C^B$, e a proporção fenotípica é de 1 flor vermelha : 2 flores cor-de-rosa : 1 flor branca.



Na **codominância**, um loco gênico pode ser ocupado alternativamente por dois alelos, ambos capazes de se manifestar simultaneamente. No gado bovino da variedade *shorthorn*, originária da Grã-Bretanha, identifica-se um exemplo de codominância: o alelo MGF^+ determina a produção de pigmento vermelho na pelagem, enquanto o alelo MGF^- associa-se à ausência de pigmentos. Animais homozigotos (MGF^+MGF^+) são vermelhos, enquanto os homozigotos (MGF^-MGF^-) são brancos. Os heterozigotos (MGF^+MGF^-) exibem o fenótipo ruão (malhado ou variegado) (**figura 8**).



Figura 8. Animais da variedade *shorthorn*: (a) vermelho, (b) branco e (c) ruão.

▶ Alelos letais

Alelos letais são aqueles cujos efeitos, de tão deletérios (lesivos, prejudiciais à saúde), podem levar à morte, antes da idade reprodutiva, os indivíduos em que se manifestam. Em geral, atuam somente em homozigose, sejam dominantes ou recessivos. Na espécie humana, um exemplo é o alelo que condiciona a anemia chamada **talassemia** (também conhecida como anemia do Mediterrâneo, por ter frequência relativamente alta em populações dessa região), que se caracteriza pelo bloqueio da produção de hemoglobina de adulto e pela grande quantidade de hemoglobina fetal durante o crescimento. As hemácias que apresentam esse alelo são destruídas pelo baço.

O alelo para a talassemia apresenta codominância em relação ao alelo que determina fenótipo normal: T^M determina a presença de hemoglobina anômala; T^N produz hemoglobina normal ($T^M = T^N$). Nos heterozigotos (T^MT^N), a doença manifesta-se na forma branda (talassemia menor); entretanto, os homozigotos (T^MT^M) apresentam a forma grave (talassemia maior), que geralmente não permite a sobrevivência depois da adolescência.

Existem alelos letais que determinam a morte antes mesmo do nascimento, interferindo nas proporções fenotípicas e genotípicas da descendência. Um alelo dominante P , por exemplo, condiciona pelagem amarela em camundongos e, em dose dupla, é letal. O recessivo p determina pelagem preta. Todos os camundongos amarelos possuem genótipo Pp , uma vez que os embriões de genótipo PP morrem precocemente (**figura 9a**).

Alelos letais também são encontrados em plantas, como no milho, em que um alelo recessivo determina a **ausência completa de clorofila**. As sementes de genótipo gg originam plantas que se desenvolvem apenas enquanto há estoques de matéria orgânica no endosperma das sementes; esgotados os estoques, essas plantas morrem (**figura 9b**).

Na espécie humana, são conhecidas perto de 2 mil doenças hereditárias. Outros exemplos são a acondroplasia (dominante) e a fibrose cística (recessiva). Reveja com os alunos a tabela da página 166.

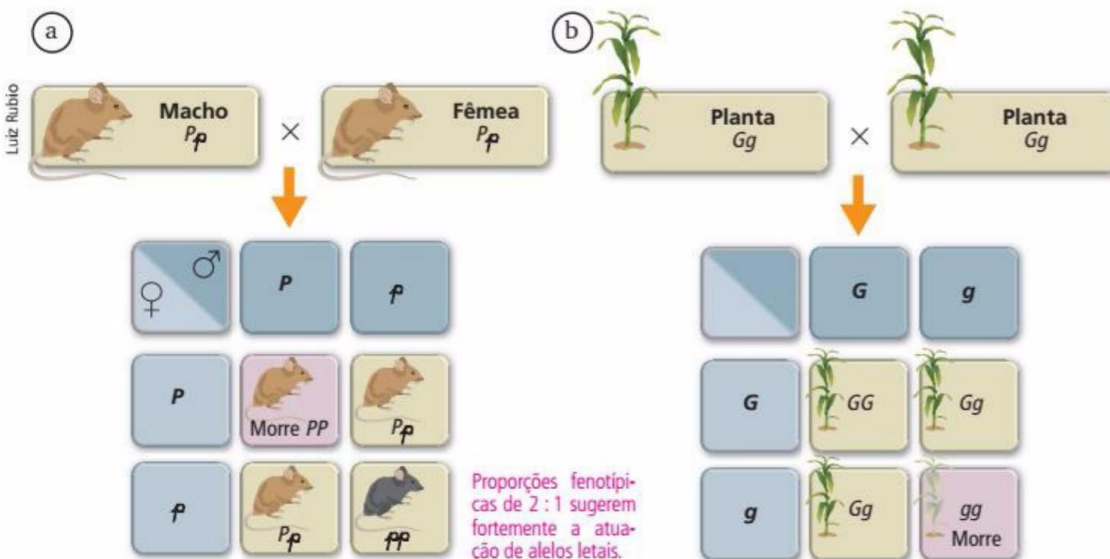


Figura 9. (a) Cruzamento de camundongo macho amarelo com fêmea de igual genótipo. Como os embriões de genótipo PP morrem, as proporções genotípica e fenotípica na descendência ficam alteradas ($2 Pp : 1 pp$, portanto, dois animais amarelos para um preto). (b) Na descendência do cruzamento de plantas de milho heterozigotas para um alelo recessivo que determina a ausência completa de clorofila, obtêm-se 25% de plantas de genótipo GG , 50% de genótipo Gg e 25% de genótipo gg (que morrem).

Pleiotropia

Alelo pleiotrópico é aquele que pode determinar o aparecimento simultâneo de várias características, ou seja, um único gene interfere em vários fenótipos. Um exemplo é o alelo humano que condiciona a **fibrose cística**, doença caracterizada pela alteração de muitas secreções do corpo, particularmente do suor, das secreções digestivas e de muco das vias aéreas. Em consequência, o indivíduo afetado apresenta distúrbios digestivos e pulmonares, além de suor com elevada concentração de sais.

O alelo causador da **galactosemia** também é pleiotrópico. As crianças afetadas são incapazes de metabolizar a galactose, açúcar obtido na hidrólise da lactose, dissacarídeo presente no leite. Os doentes apresentam acúmulo de alguns derivados metabólicos da galactose em diversos órgãos do corpo; manifestam anemia, distúrbios intestinais, cirrose hepática e catarata.

Outro exemplo em seres humanos é a **doença falciforme** (ou anemia falciforme), relacionada à alteração da sequência de aminoácidos de uma das cadeias polipeptídicas da molécula da hemoglobina. As hemácias falciformes, que transportam menos O_2 que as hemácias normais, apresentam forma alterada (formato de foice ou meia-lua). Em decorrência da alteração da hemoglobina e dos glóbulos vermelhos, surgem numerosas manifestações, como fraqueza, retardo do desenvolvimento físico, insuficiência cardíaca, aumento do baço e do fígado e lesões articulares (**figura 10**).

Na agropecuária, a identificação de genes pleiotrópicos é importante para o reconhecimento de indivíduos (animais ou plantas) que apresentam características associadas ao desempenho e à produtividade (**figura 11**).

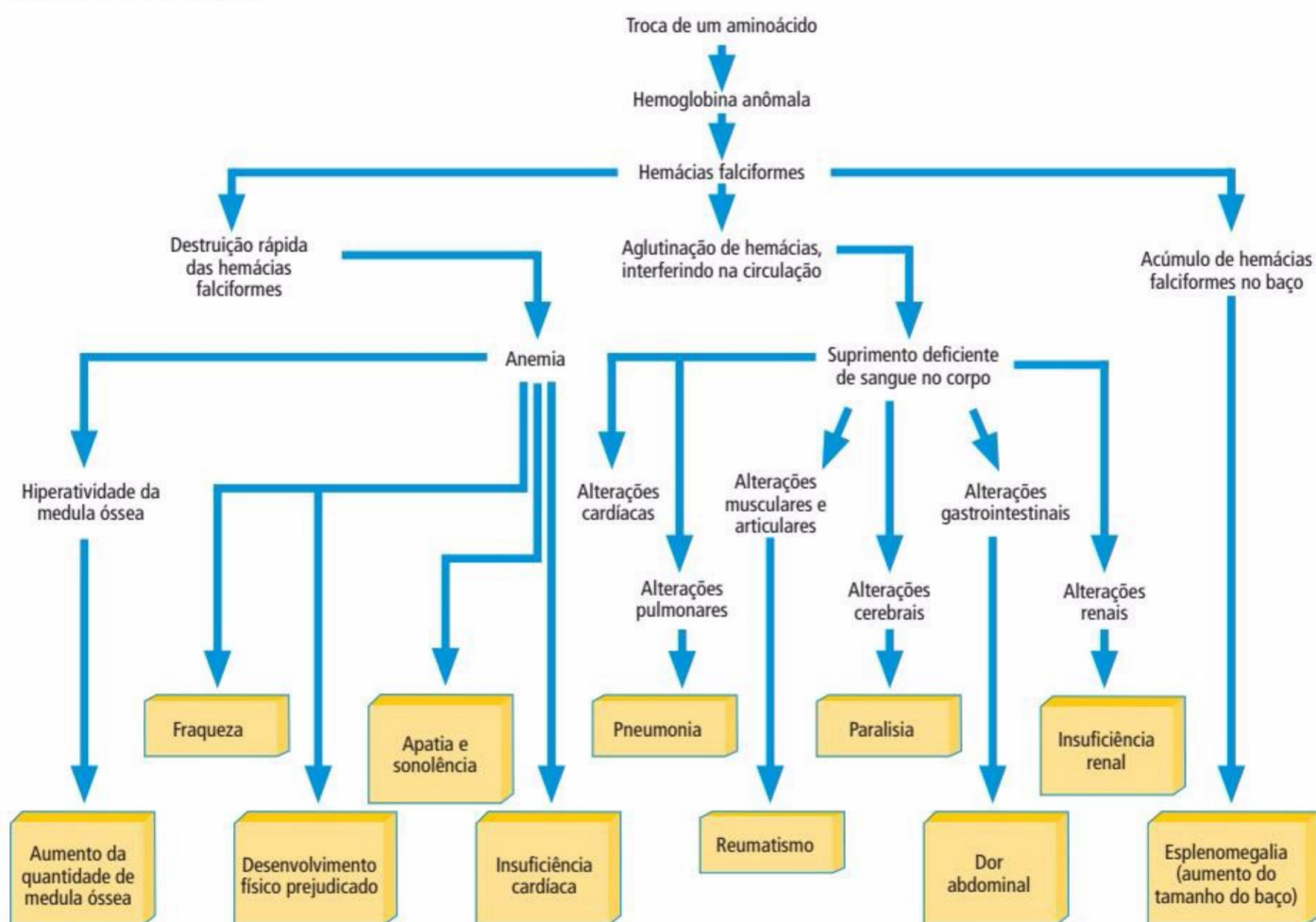


Figura 10. Manifestações que podem aparecer em indivíduo com doença falciforme.

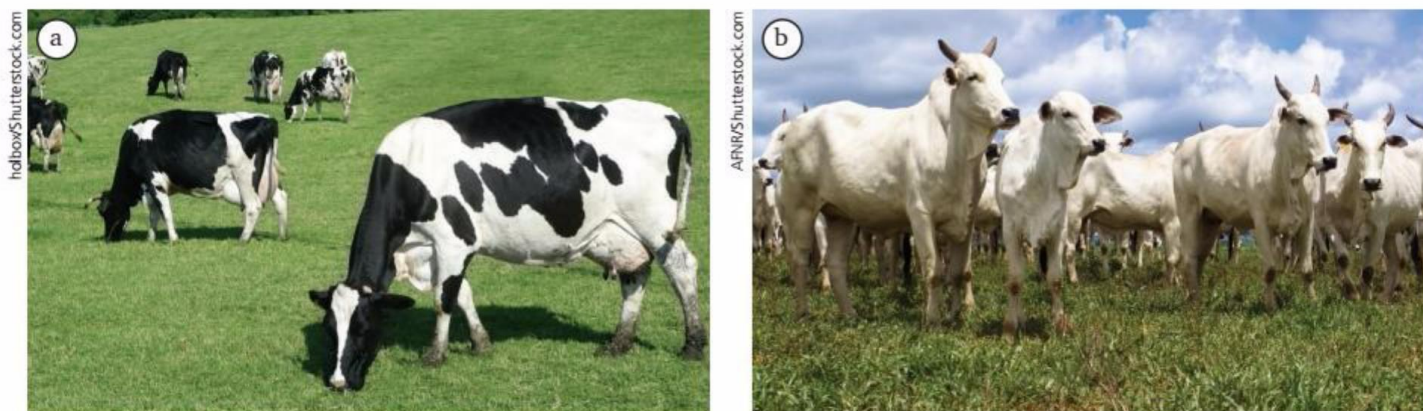
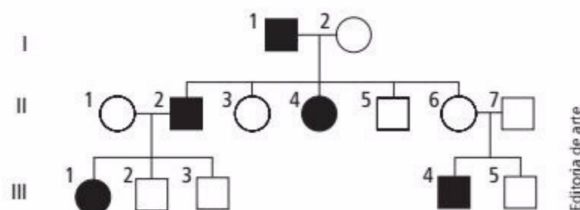


Figura 11. (a) O padrão da pelagem, o formato da cabeça e das orelhas, a irrigação do úbere, o formato das tetas e outras características são associadas à fertilidade e à produção de leite em bovinos da raça holandesa; (b) ou à quantidade e à qualidade da carne em bovinos da raça nelore.

► Penetrância e expressividade

Nem sempre a presença de um genótipo em um indivíduo determina a manifestação do fenótipo correspondente. Vejamos o heredograma a seguir, referente a casos de camptodactilia em uma família.

A **camptodactilia**, determinada por alelo autossômico dominante, é a presença de dedos anormalmente curtos e curvos nas mãos.



Edição de arte

O indivíduo III-4 é um homem com camptodactilia, cujos pais são normais. Como isso é possível, sabendo-se que essa anormalidade é determinada por um alelo dominante?

O probando pode ter sofrido uma mutação, mas essa possibilidade é remota. É ainda menos provável que exatamente essa mutação, que determina o aparecimento da camptodactilia, venha a ocorrer em um membro de uma família em que já existem outros casos da mesma anomalia. A explicação mais plausível é que a mãe do probando, a mulher II-6, seja portadora do alelo causador da camptodactilia, mas não tenha sofrido sua ação.

Quando, em relação a determinado alelo, todos os indivíduos portadores de um genótipo manifestam o fenótipo correspondente, esse alelo tem **penetrância completa**. Quando nem todos os portadores do genótipo expressam o fenótipo correspondente, o alelo tem **penetrância incompleta**. Por exemplo, a camptodactilia é determinada por um alelo cuja penetrância é de 75%, ou seja, apenas 75% dos indivíduos portadores de genótipo N_+ (NN ou Nn) manifestam a anormalidade.

Alguns alelos têm **expressividade variável**, podendo se manifestar em diferentes graus de intensidade. Um exemplo humano é o alelo dominante que condiciona a polidactilia e determina o aparecimento de dedos extras nas mãos e/ou nos pés. Alguns indivíduos possuem dedos extras nas mãos e nos pés; outros, apenas nas mãos ou apenas nos pés; finalmente, há aqueles com um dedo extra em somente uma das mãos ou em um dos pés.

Consideremos o exemplo hipotético de uma espécie vegetal em que um alelo dominante B determina flores purpúreas e seu alelo recessivo b condiciona flores brancas. Entre as plantas de genótipo B_+ , poderemos encontrar as seguintes manifestações fenotípicas:

- caso o alelo B tenha penetrância incompleta:



Ilustrações: Studio Caparroz

- caso o alelo B tenha expressividade variável:



Caso tenha alunos daltônicos, utilize imagens em tons contrastantes de claro e escuro.

DigitalMediaPro/Shutterstock/Getty Images



Figura 12. Diversos fatores afetam a manifestação dos genes. Hormônios sexuais masculinos, por exemplo, estimulam a manifestação dos alelos para a calvície, menos comum em mulheres. Por outro lado, a textura e a cor dos cabelos da criança podem mudar com o tempo, por interferência da idade na expressão gênica.

Estudo dos gêmeos

Nos mamíferos, o número de descendentes em cada gestação varia de um (como nos seres humanos) a mais de 20 (como nos porcos). Na espécie humana, observam-se os seguintes valores aproximados de nascimentos múltiplos:

- Frequência de gemelaridade dupla: um caso para cada 80 gestações.
- Frequência de trigêmeos: um caso para cada 7 400 gestações.
- Frequência de quadrigêmeos: um caso para cada 640 mil gestações.

Há variações étnicas na ocorrência de gemelaridade. Na Europa, a incidência média é de um caso para cada 56 gestações; no Japão, um caso para 150 gestações; na China, um caso para 300 gestações.

Os gêmeos **monozigóticos** (também chamados univitelinos, idênticos ou verdadeiros) formam-se pela partição precoce do embrião. Os gêmeos monozigóticos exibem identidade genética pelo fato de se originarem de um só zigoto, ou seja, todas as características determinadas geneticamente se expressam da mesma forma, a menos que sofram influência de fatores ambientais (**figura 13a**).

Os gêmeos **dizigóticos** (bivitelinos ou fraternos) são geneticamente tão semelhantes quanto quaisquer irmãos, pois resultam do desenvolvimento de zigotos distintos (gametas femininos fecundados por espermatozoides distintos). A ovulação múltipla pode estar associada ao uso de hormônios, frequente nas técnicas de reprodução assistida, e a fatores genéticos, sendo comum a ocorrência de mais de um caso de gêmeos fraternos na mesma família (**figura 13b**).

As frequências apresentadas excluem os casos de fertilização assistida, em que a gemelaridade é mais comum.

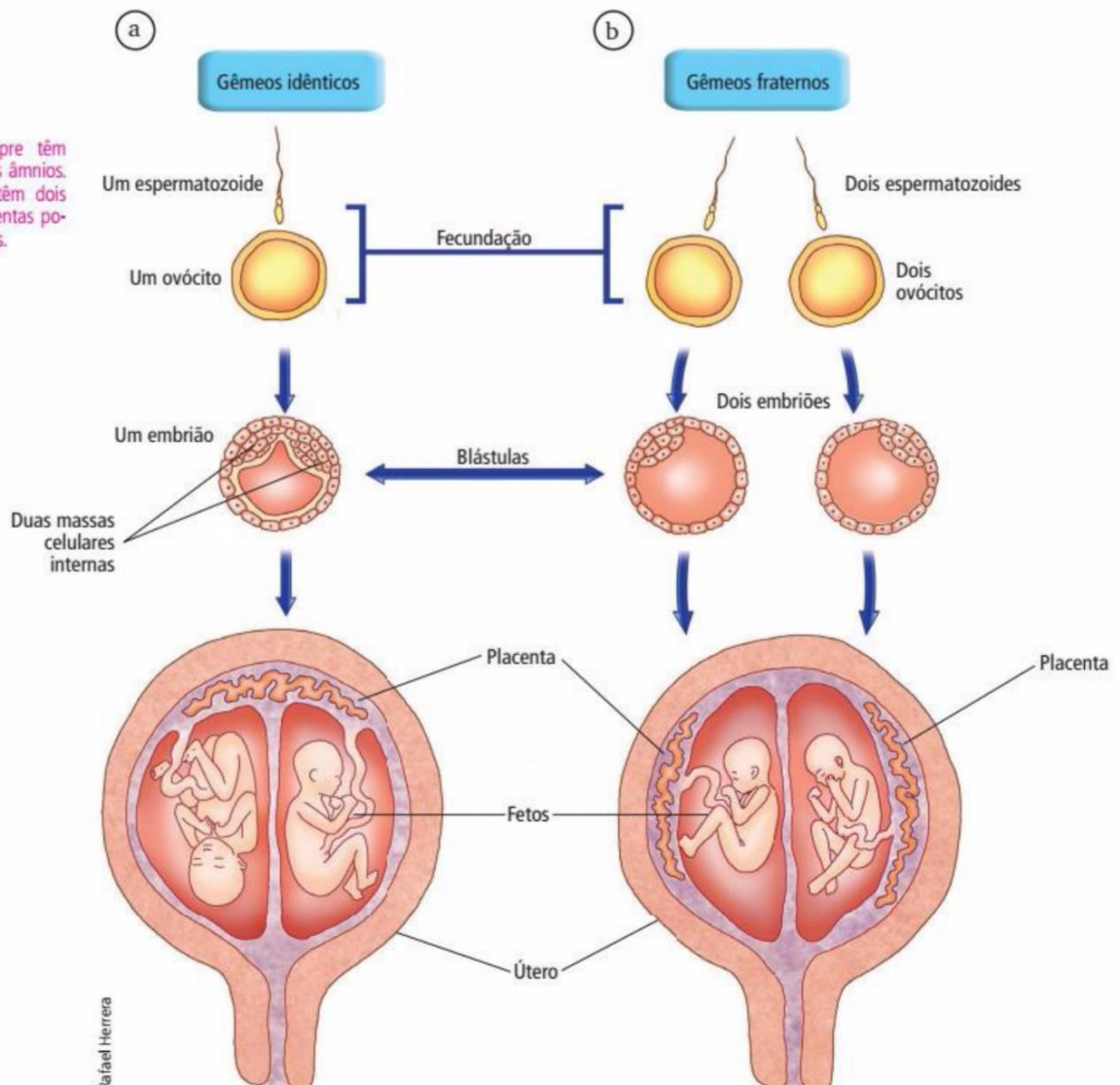


Figura 13. (a) Gêmeos monozigóticos surgem por separação de células do embrião em desenvolvimento. (b) Gêmeos dizigóticos surgem quando mais de um gameta feminino é fecundado. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

► Taxa de concordância

Durante a vida intrauterina e depois do nascimento, as pessoas estão sujeitas, direta ou indiretamente, a fatores ambientais que podem influenciar o fenótipo, como as condições do meio intrauterino, medicamentos tomados pela mãe, as condições nutricionais da mãe, o ambiente sociocultural, fatores emocionais, nutrição, infecções e radiações.

O estudo de gêmeos monozigóticos (geneticamente iguais) criados em ambientes diferentes permite avaliar as participações do genótipo e do ambiente na determinação do fenótipo. Quando, em pares de gêmeos, diversas características são comparadas, pode-se estabelecer uma **taxa de concordância** que expressa a porcentagem de pares que manifestam igualmente cada uma delas (**tabela 2**).

Tabela 2. Taxas de concordância entre gêmeos		
Características	Gêmeos idênticos	Gêmeos fraternos
Alcoolismo	100%	79%
Tipo sanguíneo	100%	66%
Cor dos olhos	99%	28%
Retardo mental	97%	37%
Cor dos cabelos	95%	22%
Tabagismo	91%	65%
Diabetes melito	84%	37%
Distúrbios psíquicos	80%	15%
Uso predominante da mão esquerda ou da direita	79%	77%
Epilepsia	72%	15%
Hipertensão arterial	63%	36%
Alergia a determinada substância	59%	5%
Câncer de estômago	27%	4%

Fonte: LIMA, C. P. *Genética humana*. São Paulo: Harbra, 1996.

Quanto maior a influência do genótipo na determinação de certa característica, maior deverá ser a taxa de concordância entre os gêmeos idênticos. Se uma característica é determinada exclusivamente pelo genótipo e não sofre influência de fatores ambientais, os gêmeos idênticos são concordantes; discordância entre eles indica que fatores ambientais atuaram na característica.

A determinação da **cor dos olhos** e dos **cabelos** tem forte componente hereditário, pois a taxa de concordância entre gêmeos idênticos é muito superior àquela encontrada entre os gêmeos fraternos. Já o uso predominante da mão direita ou da mão esquerda recebe forte influência ambiental, uma vez que são praticamente as mesmas as taxas de concordância entre gêmeos idênticos e fraternos.

O **diabetes melito** é considerado um caráter familiar, ou seja, seguramente há fatores genéticos associados com sua determinação, mas eles não obedecem simplesmente aos padrões clássicos de herança mendeliana. Quanto mais precoce for o início das manifestações do diabetes melito, maior é o componente genético em sua determinação e maior o risco de transmissão para os descendentes (**tabela 3**).

Em relação ao alcoolismo, parece haver alterações enzimáticas que tornam o indivíduo metabolicamente dependente do etanol. A Organização Mundial da Saúde considera o alcoolismo doença, e não hábito ou vício.

Tabela 3. Diabetes melito: idade e herdabilidade	
Idade do início das manifestações	Aumento do risco de ocorrência nos filhos
De 0 a 19 anos	De 18 a 40 vezes
De 20 a 39 anos	De 6 a 12 vezes
Acima de 40 anos	Até 3 vezes

1. (Unicamp-SP) A herança da cor do olho na espécie humana é representada simplificada como um par de alelos, A (dominante, determinando cor castanha) e a (recessivo, determinando cor azul). Baseando-se nessa explicação, analise as afirmações abaixo, proferidas por casais em relação à cor dos olhos de seu bebê, verificando se elas têm fundamento. Justifique sua resposta.

- Afirmção de um casal de olhos azuis: “nosso bebê poderá ter olhos castanhos porque as avós têm olhos castanhos”.
- Afirmção de um casal de olhos castanhos: “nosso bebê poderá ter olhos azuis porque o avô paterno tem olhos azuis”.

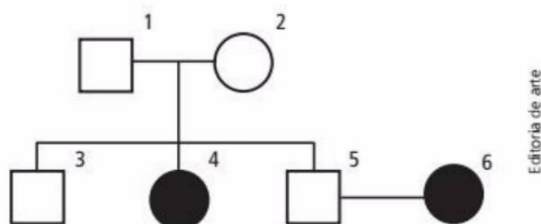
2. Nas moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*), há um alelo recessivo (v) que determina a presença de asas vestigiais, muito curtas, em um alelo dominante (V) que condiciona a formação de asas normais.



Do cruzamento de um macho de asas normais com uma fêmea de asas vestigiais, surgiram descendentes de asas normais e descendentes de asas vestigiais.

- Determine os genótipos do macho e da fêmea. Explique como chegou a eles.
 - Qual é a proporção esperada de descendentes que apresentem cada um desses fenótipos no cruzamento citado?
3. (UERJ) Um par de alelos regula a cor dos pelos nos porquinhos-da-índia: o alelo dominante B produz a pelagem de cor preta e seu alelo recessivo b produz a pelagem de cor branca. Para determinar quantos tipos de gametas são produzidos por um desses animais, cujo genótipo homozigoto dominante tem o mesmo fenótipo do indivíduo heterozigoto, é necessário um cruzamento-teste. Admita que os descendentes da primeira geração do cruzamento-teste de uma fêmea com pelagem preta apresentem tanto pelagem preta quanto pelagem branca. Descreva o cruzamento-teste realizado e determine o genótipo da fêmea e os genótipos dos descendentes.

4. Observe a genealogia humana a seguir:



- A variação assinalada é dominante ou recessiva? Justifique.
- O casal 5 – 6 pode ter uma criança que apresente a variação? Qual é a probabilidade de isso acontecer? Explique.

5. Sabendo-se que a produção de albumina é determinada geneticamente, considere a situação a seguir: do cruzamento de uma égua que produz albumina A com um cavalo produtor de albumina B, todos os potros produzem ambos os tipos de albumina.

- Que tipo de herança é essa? Justifique.
- Se um macho dessa descendência for cruzado com uma fêmea de igual genótipo, qual a porcentagem esperada de descendentes que produzirão apenas a albumina B?

6. Em galináceos, há um alelo que condiciona o fenótipo conhecido pelos criadores como *frizzly* (ou “penas arrepiadas”). A anomalia que ele determina é uma deformidade das penas, que são fracas e oferecem pouca proteção térmica. As aves afetadas apresentam, ainda, pouca produtividade de ovos e carne, aumento dos órgãos digestivos, alterações hormonais e dos rins.

- Como se denomina este padrão de herança, em que um só alelo causa múltiplas manifestações fenotípicas? Cite um exemplo na espécie humana.
- Com base em conhecimentos sobre fisiologia animal, elabore uma hipótese que explique por que a deformidade das penas causa aumento de órgãos digestivos e pequena produtividade de ovos.

7. Um alelo dominante cuja penetrância é de 80% determina uma doença genética em seres humanos. Qual é a probabilidade de que um homem doente heterozigoto, casando-se com uma mulher homozigota recessiva, venha a ter:

- uma criança doente? Mostre seus cálculos.
- duas crianças não gêmeas, ambas normais? Mostre seus cálculos.

8. (UFRJ) A formação de uma característica fenotípica depende, em alguns casos, apenas de fatores genéticos. Em outros casos, prevalece a influência de fatores ambientais. Na maioria das vezes há uma interação entre fatores genéticos e ambientais. Um dos métodos utilizados para avaliar a importância relativa dos genes e dos fatores ambientais na formação de uma característica é o estudo comparativo entre irmãos monozigóticos criados juntos e criados separados. A tabela a seguir, elaborada a partir de um grande número de pares de gêmeos, indica o grau de concordância de quatro características. Uma concordância significativa que quando um irmão possui a característica, o outro também a possui.

Característica	Grau de concordância	
	Criados juntos	Criados separados
1	70%	65%
2	70%	20%
3	60%	50%
4	100%	100%

Indique a característica que mais depende de fatores ambientais. Justifique sua resposta.

Instabilidade dos paradigmas: da vida social à Biologia moderna

Por José Ruy Lozano

A modernidade costuma ser associada ao ideário racionalista, iniciado a partir da ruptura com as formas de organização social e de pensamento herdadas da tradição medieval. O questionamento dos dogmas da fé e o predomínio da razão tiveram enorme repercussão em toda a sociedade ocidental. O domínio da natureza e o desenvolvimento de meios técnicos e científicos redundaram na sociedade industrial capitalista, organização social da produção típica do mundo moderno. Essa configuração da sociedade produziu formas de vida e de identidade estáveis no plano cultural, além de expectativas relativamente sólidas de inserção no campo do trabalho.

Do final do século XX para o início do século XXI, o mundo apresenta-se mais instável, corroendo noções caras ao projeto moderno: o trabalho assalariado deprecia-se e perde espaço, altera-se a família mononuclear, rompem-se as expectativas de inserção e ascensão social. Os mercados financeiros assumem papel proeminente na economia, o mundo do trabalho diversifica-se, os meios eletrônicos de comunicação substituem interações face a face. Novas identidades (étnicas, sexuais e culturais) defendem direitos e pontos de vista.

Para explicar as novas feições da modernidade, o sociólogo polonês Zygmunt Bauman recorre à analogia entre a sociedade e a dinâmica dos líquidos, os quais mudam rapidamente e são incapazes de manter a forma, a menos que haja um continente que os restrinja. Para Bauman, no atual estágio da modernidade as formas de vida social são deliberadamente impedidas de se solidificarem. O impulso de transgredir, de substituir e de acelerar a circulação de mercadorias não produz a oportunidade nem o tempo necessário para condensar e solidificar a vida social em formas estáveis. Segundo Bauman, a modernidade sólida deixa de existir e dá lugar à **modernidade líquida**, cuja marca é a volatilidade.

Nas ciências em geral — e particularmente na Biologia Molecular — certas fundamentais entraram em crise nos últimos anos. Particularmente, destacam-se os crescentes questionamentos ao dogma (ou paradigma) central da Biologia, segundo o qual haveria uma correspondência unidimensional entre DNA, RNA, proteínas e fenótipo. Muitos especialistas acreditam que o estabelecimento de características fenotípicas é muito mais instável e volátil do que concebia o dogma central.

É importante que os alunos comecem a se familiarizar com as múltiplas concepções atuais do gene (unidade da hereditariedade, agente de processos bioquímicos intracelulares, repositório de processos evolutivos etc.), bem como as limitações desse conceito, assunto que será retomado no Capítulo 13. Para apoiar a discussão, sugerimos os artigos **A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene**, de JOAQUIM, L. M.; EL-HANI, C. N. (disponível em: <<http://tub.im/ncihuq>>. Acesso em: mar. 2016) e **Revisiting the Central Dogma in the 21st Century**, de SHAPIRO, J. A. (disponível em inglês em: <<http://tub.im/vncbf7>>. Acesso em: mar. 2016).

Estudando o controle genético do desenvolvimento embrionário da orelha interna de galinhas, biólogos descobriram um gene — denominado *slo* — capaz de codificar mais de 500 tipos diferentes de RNA mensageiro, por meio do que se denominou **processamento alternativo**. Como as proteínas produzidas por esse gene habilitam as células da orelha interna a captar distintas faixas de frequência sonora, sua modificação afeta a sensibilidade auditiva do animal. Cada proteína diferente — que teve a sequência de aminoácidos modificada pelo processamento alternativo — determina a capacidade de perceber ondas sonoras de frequências específicas, possibilitando a interpretação de diferentes sons.

O estudo do sistema nervoso de drosófilas (moscas-das-frutas) concluiu que o processamento alternativo de RNA mensageiro do gene *DScam* pode gerar mais de 38 mil proteínas diferentes, levando a uma diversidade bioquímica que contribui para o estabelecimento de conexões neuronais específicas.

Em Biologia Molecular, são numerosos os estudos recentes que atestam a superação do chamado dogma central. Para muitos cientistas, o desenvolvimento dos organismos não é a simples execução de um programa genético preexistente, localizado nos genes. Para esses teóricos, qualquer análise molecular dos organismos deve incluir também as feições ambientais em que eles se inserem, privilegiando a noção de **interação**. De acordo com a corrente interacionista, os genes seriam tão somente um dos muitos recursos utilizados no desenvolvimento da vida.

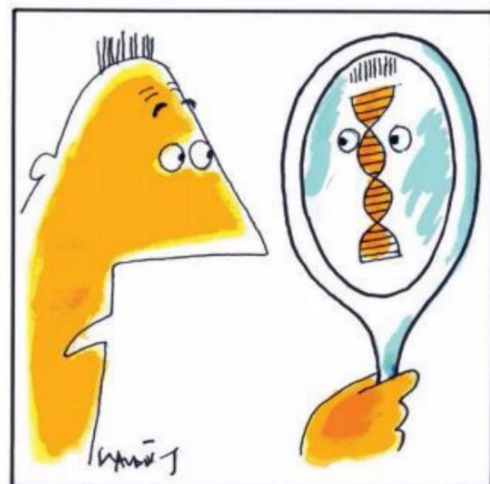
No lugar da consagrada dupla-hélice, o biólogo Richard Lewontin chega a defender a existência de uma “tripla hélice” — formada por gene, organismo e ambiente — um jogo de palavras bastante provocativo. James Shapiro, outro especialista renomado, acredita que o desenvolvimento dos organismos resulta de um amoldamento plástico que envolve herança genética, condições fisiológicas, ambiente físico e dinâmicas ecológicas.

Assim como a volatilidade é a marca da sociedade contemporânea, o desenvolvimento de características nos organismos também resultaria de interações altamente voláteis e incertas, em grande medida impossíveis de serem previstas. Enfim, estamos diante do nascimento de uma “biologia líquida”.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. A charge ao lado, do cartunista Claudius, foi publicada na época da divulgação dos resultados preliminares do Projeto Genoma Humano (PGH), cujo objetivo era sequenciar os nucleotídeos das moléculas de DNA que constituem o genoma dos seres humanos e que foi finalizado em 2003.
 - a) Explique o sentido de humor da charge, levando em conta o contexto em que foi criada.
 - b) À luz de recentes descobertas da genômica, que críticas podem ser feitas a essa abordagem?
2. No texto acima, identifique um trecho que dê sustentação à resposta do item **b** da primeira questão.



Claudius

Mendel e variações

Alelos múltiplos e grupos sanguíneos

wavebreakmedia/Shutterstock.com



Pratique solidariedade,
pratique o bem.

Doar sangue é salvar vidas!

A doação de sangue é um ato voluntário que salva vidas. As orientações e informações listadas a seguir, elaboradas pelo professor Dr. Dimas Tadeu Covas, diretor do Centro Regional de Hemoterapia de Ribeirão Preto (SP), podem ajudar você na decisão de doar sangue e divulgar a importância desse ato que, acima de tudo, é de solidariedade!

Por que devo doar?

Diariamente muitas pessoas sofrem acidentes ou estão internadas por diferentes doenças e necessitam de transfusões sanguíneas. O sangue humano é fracionado nos seus diversos componentes ou é processado nos seus diversos produtos e serve a vários pacientes e em muitas situações ele é imprescindível, não podendo ser substituído por outro produto. É um produto que não pode ser comprado e, portanto, depende da solidariedade das pessoas. Além disso, o sangue humano tem tipos diferentes e os hemocomponentes têm validade definida, sendo que num dia podemos tê-los e no outro, não.

Quem pode doar?

Em princípio, podemos dizer que todos podemos nos candidatar a ser doadores de sangue. Entretanto, nossa aceitação depende de uma série de fatores que levam em conta o risco que aquela doação pode representar para a saúde do próprio candidato e para a saúde do indivíduo que vier a receber o sangue doado.

O que acontece após a doação?

Depois da doação, o candidato é observado por algum tempo, recebe orientações para que evite esforços físicos naquele dia, para que se alimente bem, especialmente ingerindo líquidos, recebe um lanche e é liberado. Ele é ainda orientado para retornar em alguns dias para buscar os resultados dos exames que foram realizados.

Qual o intervalo das doações?

O intervalo para homens é 60 dias e para mulheres é 90 dias. Entretanto, recomenda-se que o homem doe até 4 vezes por ano e a mulher até 3 vezes por ano.

O que acontece com o sangue do doador?

O sangue doado, juntamente com as amostras colhidas para exame, é encaminhado aos laboratórios. A bolsa de sangue colhida será fracionada nos hemocomponentes e ficará em quarentena aguardando os exames que serão realizados para as seguintes doenças:

- HIV;
- Hepatite B e Hepatite C;
- HTLV I,II;
- Chagas;
- Sífilis.

Quem não pode doar o sangue?

Quando se realiza a triagem clínica para definir quem pode ou não pode doar sangue, sempre se leva em conta ambos os envolvidos, que são o doador e o receptor. Desta forma, não devem doar sangue todas aquelas pessoas que possam apresentar alguma consequência da doação para sua saúde; por exemplo, pessoas anêmicas, pessoas com doenças cardíacas, pessoas com peso inferior a 50 kg, mulheres grávidas ou lactantes. Também estão impedidas de doar sangue todas as pessoas cujo sangue possa provocar alguma consequência no receptor, como por exemplo, pessoas expostas a risco acrescido de terem doenças passíveis de transmissão sanguínea como hepatites, aids, sífilis (que possuam parceiros múltiplos, usuários de drogas endovenosas e seus parceiros sexuais), pessoas em uso de medica-

mentos que possam provocar consequências em fetos de mulheres grávidas como isotretinoína (medicamento para acne), etretinate e acicretina (medicamento para psoríase) e finasterida (medicamento para doença de próstata ou para calvície), assim como qualquer pessoa que não esteja em sua perfeita condição de saúde. Todos os candidatos passarão por uma triagem clínica antes da doação para serem avaliadas suas condições.

Doar sangue é seguro?

Sim! Doar sangue é seguro. Não existe nenhum risco de contrair uma doença infecciosa doando sangue. Entretanto, existe um pequeno risco de que o doador possa sentir algum mal-estar durante ou logo após a doação especialmente nas primeiras vezes que ele doa, porém, os serviços se preocupam com isso, observam e cuidam para que os doadores nada sintam ou, se sentirem, que sejam bem assistidos.

Hemocentro de Ribeirão Preto **Dúvidas**. Disponível em: <<http://pegasus.fmrp.usp.br/projeto/duvidas.htm>>. Acesso em: abr. 2016.

[...]

É cobrado pelo sangue doado?

Não, o sangue doado não é cobrado. No entanto, existe um custo para que o sangue seja colhido (ex: compra do material descartável), fracionado em seus componentes (ex: glóbulos vermelhos, plaquetas e plasma etc.) e para a realização dos exames [...].

O sangue tem validade? Pode ser congelado?

Os hemocomponentes [...] são conservados em soluções anticoagulantes e preservantes que permitem a seguinte validade: concentrado de hemácias: 35 dias; concentrado de plaquetas: 5 dias; plasma fresco congelado: 12 a 24 meses, a depender da temperatura de armazenamento. [...]

Como é armazenado o sangue? Em geladeira? Ele congela?

Os glóbulos vermelhos (concentrados de hemácias) são armazenados em geladeira, a 4 °C; as plaquetas em temperatura de 22 °C e o plasma, em congeladores a 18 °C negativos (abaixo de zero) ou menos.

[...]

O menor de 18 anos pode doar sangue? E se tiver autorização dos pais ou responsável?

O doador deverá ter idade entre 18 anos completos e 69 anos sendo que:

- Podem ser aceitos candidatos a doação de sangue com idade de 16 e 17 anos, com consentimento formal do responsável legal;
- Os resultados de testes laboratoriais serão entregues somente para o doador;
- No dia da doação é necessária a presença do responsável legal pelo doador com documento oficial com foto que receberá todas as orientações sobre a doação do menor.

Hemocentro de Ribeirão Preto. **Perguntas Frequentes**. Disponível em: <http://pegasus.fmrp.usp.br/projeto/duvidas_frequentes.htm>. Acesso em: abr. 2016.

Alelos múltiplos

Um dos aspectos importantes do material genético é a **estabilidade**: os genes podem permanecer inalterados por diversas gerações consecutivas, mantendo características básicas da espécie praticamente sem modificações. Entretanto, existe a possibilidade de que sofram mudanças. Alelos diferentes surgem por **mutações gênicas** a partir de alelos preexistentes (**figura 1**).



Figura 1. Mutações gênicas podem provocar perdas, acréscimos ou substituições de nucleotídeos na cadeia do DNA.

As mutações gênicas podem provocar mudanças dos aminoácidos codificados e incorporados nas moléculas dos polipeptídeos, determinando o surgimento de novos fenótipos.

Se uma mutação gera um fenótipo desfavorável para a sobrevivência do organismo em seu ambiente, o portador pode ser eliminado ou não deixar descendentes férteis; se o novo fenótipo for tão ou mais favorável quanto o original, o alelo mutante incorpora-se ao patrimônio genético da espécie, podendo ser transmitido para as futuras gerações.

Um **loco gênico** é a porção do cromossomo onde se localiza um **gene**, ou seja, um segmento de DNA com a informação genética que codifica a síntese de um polipeptídeo e determina uma característica. **Alelo** é cada uma das **versões** de um determinado gene (**figura 2**).

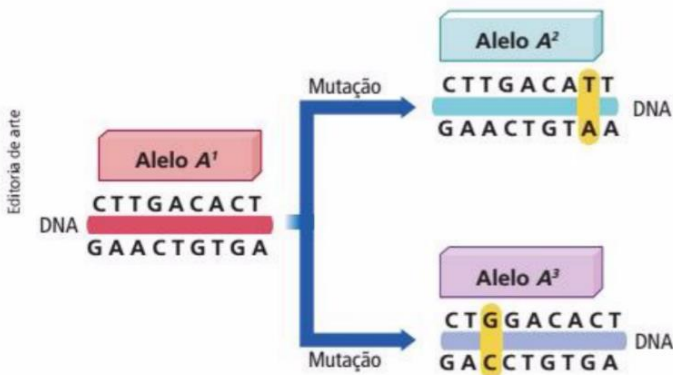


Figura 2. Eventualmente, em um loco que já é ocupado alternativamente por dois alelos, uma mutação pode determinar o surgimento de um terceiro alelo. Assim, esse loco passa a contar com três formas alternativas de ocupação.

É habitual cada loco poder ser ocupado alternativamente por um alelo **dominante** ou um alelo **recessivo**. Quando um gene admite três ou mais versões (ou formas alternativas), que podem ocupar alternativamente o mesmo loco gênico, elas são chamadas de **alelos múltiplos** (ou **polialelos**). Como em cada célula, geralmente, há dois cromossomos de cada tipo (os pares de homólogos), os alelos também formam pares (**figura 3**).



Figura 3. Formas de ocupação de um loco gênico, em cromossomos homólogos, por três alelos múltiplos.

Independentemente do número de alelos múltiplos de uma série, apenas dois (que podem ser iguais ou não) são encontrados em cada indivíduo. O número de genótipos formados por alelos múltiplos é dado por:

$$\frac{n \cdot (n + 1)}{2} \quad (\text{em que } n \text{ é o número de alelos da série})$$

Em coelhos, por exemplo, a coloração da pelagem é condicionada por uma série de quatro alelos múltiplos; no entanto, cada animal tem em suas células somente dois deles (**figura 4**):

- C: determina pelagem selvagem ou aguti (marrom ou castanha);
- c^{ch} : determina pelagem chinchila (cinza-prateada);
- c^h : determina pelagem himalaia (branca com extremidades pretas);
- c (ou c^a): determina pelagem albina (branca).

Relação de dominância: $C > c^{ch} > c^h > c$

Número de genótipos distintos:

$$\frac{n \cdot (n + 1)}{2} = \frac{4 \cdot (4 + 1)}{2} = 10 \text{ genótipos}$$



Figura 4. Cor da pelagem em coelhos: genótipos e fenótipos. Entre os coelhos com pelagem chinchila, os que têm genótipo $c^{ch}c^h$ e $c^{ch}c$ são mais claros que os animais com genótipo $c^{ch}c^{ch}$, caracterizando uma herança com dominância incompleta.

Sangue: sistema ABO

Desde o século XVII, as transfusões de sangue vêm salvando vidas; entretanto, nem sempre podem ser efetuadas. Os conhecimentos da genética e da bioquímica permitem explicar por que nem sempre doador e receptor são compatíveis.

Uma transfusão de sangue inadequada pode provocar queda da pressão arterial, vermelhidão generalizada ou palidez, escurecimento da visão, desmaio e até morte. Tais reações são determinadas por antígenos (moléculas geralmente de natureza proteica) cuja presença, no sangue (**figura 5**), é geneticamente condicionada.

Em 1901, o cientista Karl Landsteiner (1868-1943), prêmio Nobel em 1930, notou, em certos casos, que, ao misturar sangue de um indivíduo com plasma de outro, surgiam grumos grosseiros, que foram considerados consequência de uma reação de **aglutinação**. Atualmente, sabe-se que a causa é uma reação antígeno-anticorpo.

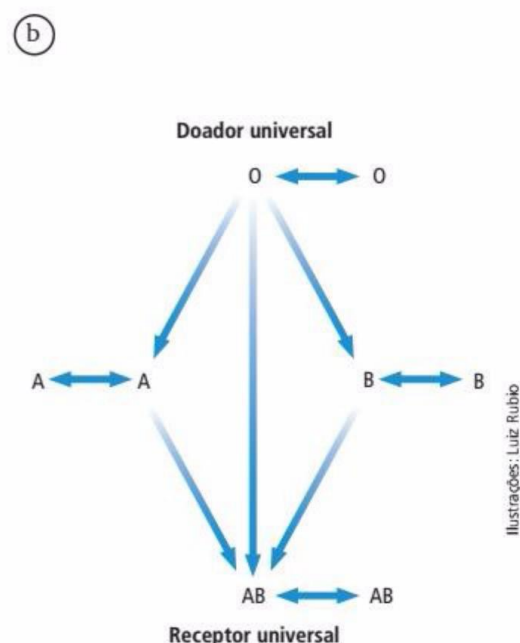
Os antígenos do sistema ABO, chamados aglutinogênio A e aglutinogênio B, encontram-se na superfície das hemácias; os anticorpos correspondentes são a aglutinina anti-A e a aglutinina anti-B, presentes no plasma. Os grupos (ou tipos) sanguíneos são classificados em A, B, AB e O, conforme o(s) aglutinogênio(s) que o indivíduo possui (**tabela 1**).

Grupos sanguíneos	Aglutinogênios (nas hemácias)	Aglutininas (no plasma)
A	A	Anti-B
B	B	Anti-A
AB	A e B	Nenhuma
O	Nenhum	Anti-A e anti-B

Transfusões

Em uma transfusão, evita-se que uma pessoa receba sangue com aglutinogênios (antígenos) contra os quais ela possua aglutininas (anticorpos). Sendo assim, as transfusões podem ser realizadas desde que o receptor não tenha aglutininas contra os aglutinogênios do sangue que está recebendo (**figura 6**).

		Doador			
		O	A	B	AB
Receptor	O				
	A				
	B				
	AB				



Considerando-se apenas o sistema ABO, as pessoas do grupo AB, que não possuem aglutininas anti-A nem anti-B, são **receptores universais**, ou seja, podem receber sangue de qualquer grupo do sistema ABO. Já as pessoas do grupo O, que não têm aglutinogênios, são **doadores universais**, pois seu sangue pode ser doado a qualquer pessoa, considerando-se o sistema ABO.



Figura 5. O sangue é formado por plasma e elementos figurados (hemácias, leucócitos e plaquetas).

Uma molécula estranha (antígeno) pode desencadear contra si a produção de proteínas de defesa (anticorpos). A reação entre antígeno e anticorpo é específica, ou seja, cada anticorpo se liga a determinado antígeno, sugerindo um encaixe do tipo “chave-fechadura”, semelhante ao que ocorre entre enzima e substrato.

Figura 6. Representações esquemáticas das reações de aglutinação, que podem acontecer entre aglutinogênios do doador e aglutininas do receptor. Em (a), nos casos em que ocorre aglutinação, a transfusão não pode ser feita; em (b), as setas indicam as transfusões possíveis no sistema ABO.

Herança do sistema ABO

Genótipos	Fenótipos
$I^A I^A$ e $I^A i$	A
$I^B I^B$ e $I^B i$	B
$I^A I^B$	AB
ii	O

A determinação genética do sistema ABO é um caso de **polialelia**, e os grupos sanguíneos são determinados por uma série de três alelos múltiplos, que podem ocupar alternativamente o mesmo loco gênico em cromossomos homólogos, formando pares.

O alelo I^A determina a produção do aglutinogênio A, o alelo I^B determina a produção do aglutinogênio B, o alelo i não determina a produção de aglutinogênios. Existe **codominância** entre os alelos I^A e I^B , sendo ambos dominantes sobre i ($I^A = I^B > i$). Com três alelos, são seis os genótipos possíveis (**tabela 2**).

Sangue: sistema Rh

Em 1940, os cientistas Landsteiner e Alexander Wiener (1907-1976) relataram a descoberta do fator Rh no sangue do macaco reso. Eles notaram que o soro anti-fator Rh produzido por coelhos provocava aglutinação das hemácias desses primatas ou de hemácias de 85% das pessoas de uma amostra populacional, mas não aglutinava hemácias dos 15% restantes (**figura 7**).

Concluíram que, no sangue de 85% das pessoas, devia haver o mesmo antígeno encontrado no sangue do macaco reso. Esse antígeno, existente na superfície das hemácias, foi chamado fator Rh (antígeno D), que são as iniciais de *rhesus*, do antigo nome científico dessa espécie de primata (*Macaca rhesus*, atualmente *Macaca mulatta*). Os indivíduos em cujo sangue existe o fator Rh são Rh positivo (Rh^+); aqueles em que não há esse fator são denominados Rh negativo (Rh^-).

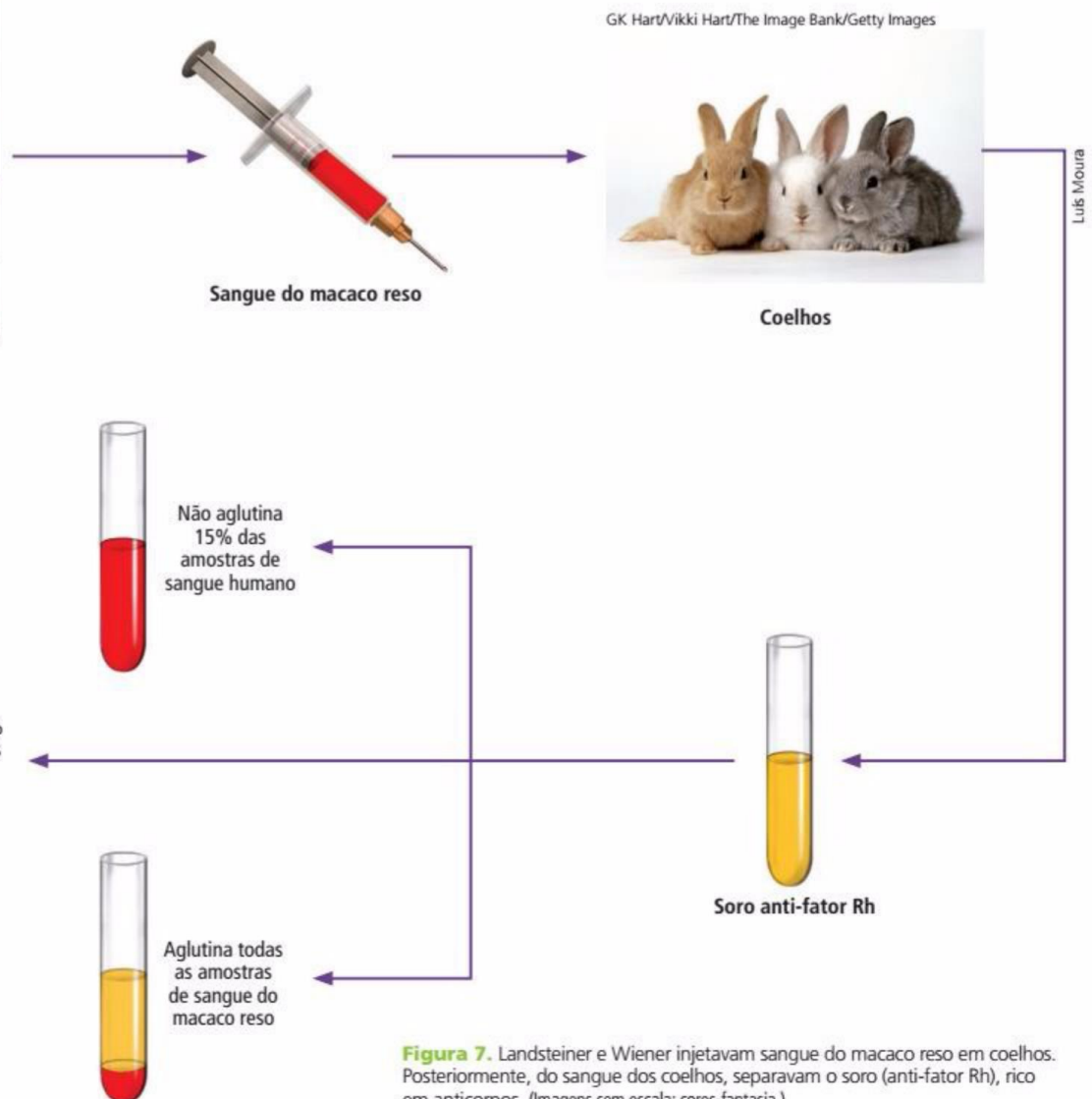
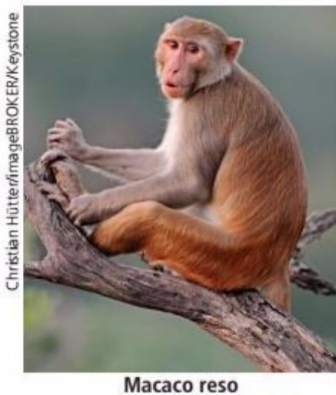


Figura 7. Landsteiner e Wiener injetavam sangue do macaco reso em coelhos. Posteriormente, do sangue dos coelhos, separavam o soro (anti-fator Rh), rico em anticorpos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

▶ Transfusões

Anticorpos anti-A e anti-B são produzidos tão logo as crianças entram em contato com antígenos bacterianos ou de parasitas intestinais, que têm semelhança química com os aglutinogênios A e B.

Ao contrário do sistema ABO, no qual os indivíduos possuem aglutininas anti-A ou anti-B mesmo sem terem recebido transfusões anteriores, os anticorpos anti-fator Rh só são produzidos quando uma pessoa Rh negativo recebe sangue de outra que é Rh positivo. Dessa forma, as que são Rh positivo podem receber tanto sangue Rh positivo como Rh negativo, pois não possuem nem produzem anticorpos anti-fator RH. Já as pessoas Rh negativo só devem receber sangue Rh negativo; caso contrário, produzirão anticorpos anti-fator Rh, o que causará aglutinação em transfusões posteriores (**figura 8**).

Considerando-se os sistemas ABO e Rh, só podem receber sangue de qualquer grupo pessoas que sejam AB e Rh positivo, porque não possuem aglutininas e já são portadoras do fator Rh; contudo, indivíduos do grupo O e Rh negativo podem doar sangue para receptores de qualquer grupo dos sistemas ABO e Rh, uma vez que não têm aglutinogênios nem fator Rh.

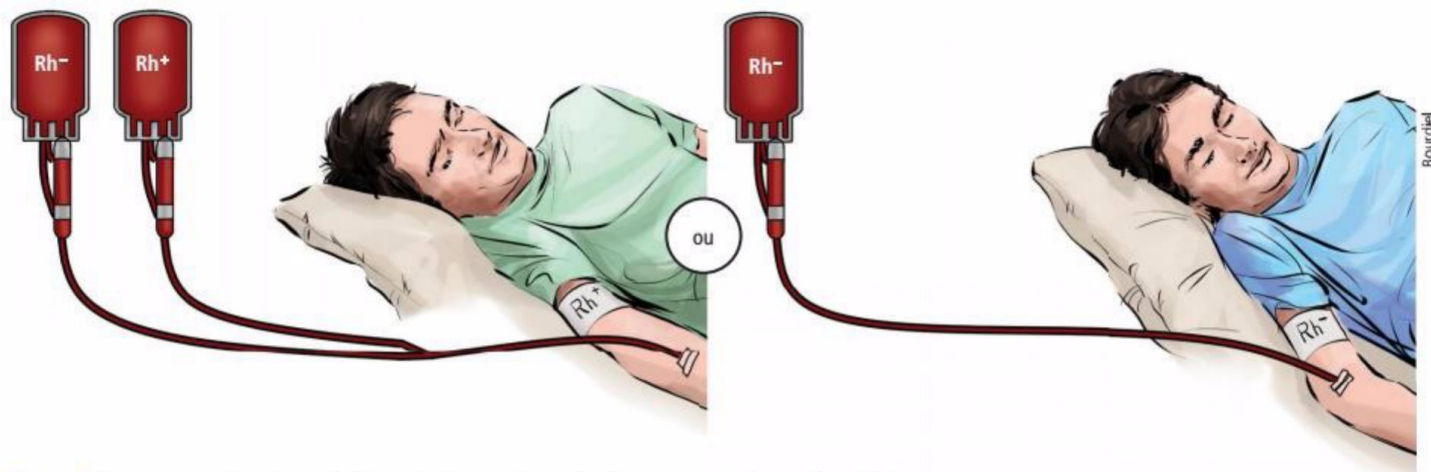


Figura 8. Esquema mostrando possíveis transfusões no sistema Rh. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

▶ Tipagem sanguínea

Quando se faz a tipagem de uma amostra de sangue, geralmente se empregam anticorpos anti-A, anti-B e anti-fator Rh, determinando-se simultaneamente os grupos dos sistemas ABO e Rh (**figura 9**).

Tipagens sanguíneas em lâmina são usadas para fins de demonstração didática. Em hospitais e laboratórios de análises clínicas, são feitas tipagens em tubo, com maior sensibilidade e especificidade.

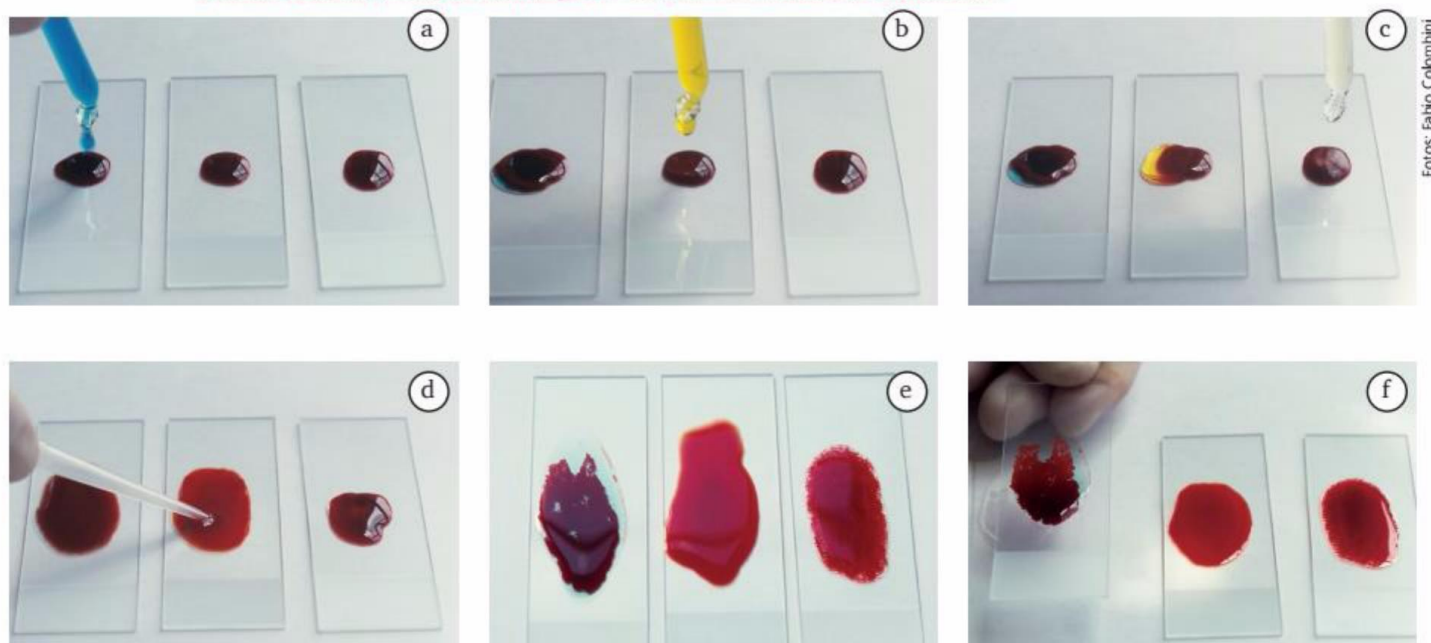


Figura 9. Gotas de sangue do mesmo indivíduo são colocadas em três lâminas de vidro. Na lâmina da esquerda (a) aplica-se uma gota de soro anti-A; na lâmina do meio (b), uma gota de soro anti-B; e, na lâmina da direita (c), uma gota de soro anti-fator Rh. As amostras de sangue são misturadas (d) com os soros e, em seguida (e), verifica-se a ocorrência ou não de aglutinação. A aglutinação ocorreu nas lâminas da esquerda e da direita, que receberam anti-A e anti-fator Rh. (f); portanto, o sangue testado é A e Rh positivo.

Herança do sistema Rh

De forma simplificada, considera-se a determinação genética do sistema Rh um caso de **mono-hibridismo com dominância completa**: um par de alelos *D* e *d* (ou *R* e *r*), em que o alelo dominante *D* determina a produção do fator Rh e o alelo recessivo *d*, não (*D* > *d*).

Indivíduos de genótipos *DD* ou *Dd* são Rh positivo, enquanto somente as pessoas de genótipo *dd* são Rh negativo.

Por essa razão, o anticorpo anti-fator Rh também é chamado anti-D.

Doença hemolítica do recém-nascido (DHRN)

A sensibilização pelo fator Rh é possível quando em uma gestante Rh negativo está se desenvolvendo um feto Rh positivo. Hemácias fetais podem passar para a circulação materna, particularmente durante o parto e, mesmo em quantidade reduzida, são reconhecidas pelo sistema imunológico da mulher, que passa a produzir anticorpos anti-fator Rh.

A criança dessa gravidez dificilmente apresenta algum problema; no entanto, os anticorpos produzidos pela mãe chegam à circulação dos próximos fetos Rh positivo, causando-lhes **hemólise**, isto é, destruição das hemácias (**figura 10**).

As principais manifestações da hemólise são: anemia, icterícia (coloração amarelada da pele e das mucosas), elevação da frequência cardíaca, aumento do tamanho do baço e do fígado, presença de hemácias jovens no sangue circulante e, nos casos mais graves, edema (inchaço) generalizado.

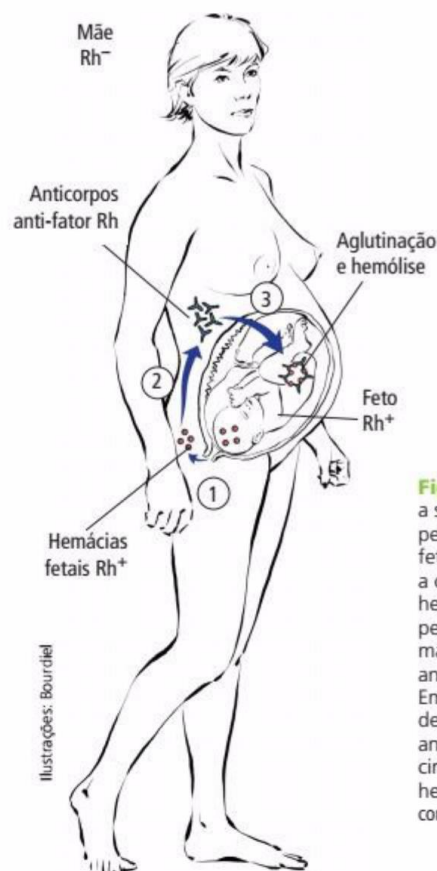


Figura 10. Esquema mostra a sensibilização da mulher pelo fator Rh. Em (1) hemácias fetais com o fator Rh atingem a circulação materna. (2) As hemácias são reconhecidas pelo sistema imunológico da mãe, que passa a produzir anticorpos anti-fator Rh. (3) Em uma próxima gestação de feto Rh positivo, tais anticorpos alcançam a circulação fetal, causando hemólise. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

É possível evitar a sensibilização de uma mulher Rh negativo depois do nascimento de uma primeira criança Rh positivo até 72 horas após o parto, injetando nela anticorpos anti-fator Rh. Os anticorpos anti-fator Rh aplicados na mãe destroem rapidamente as hemácias fetais que passaram para a sua circulação, antes que o sistema imunológico as reconheça e passe a produzir anticorpos (**figura 11**).

A incidência da DHRN, com diferentes graus de intensidade, é de aproximadamente nove casos por mil nascimentos. O tratamento consiste em fototerapia (**figura 12**) ou exsanguinotransfusão, que é a troca de quase todo o sangue da criança.

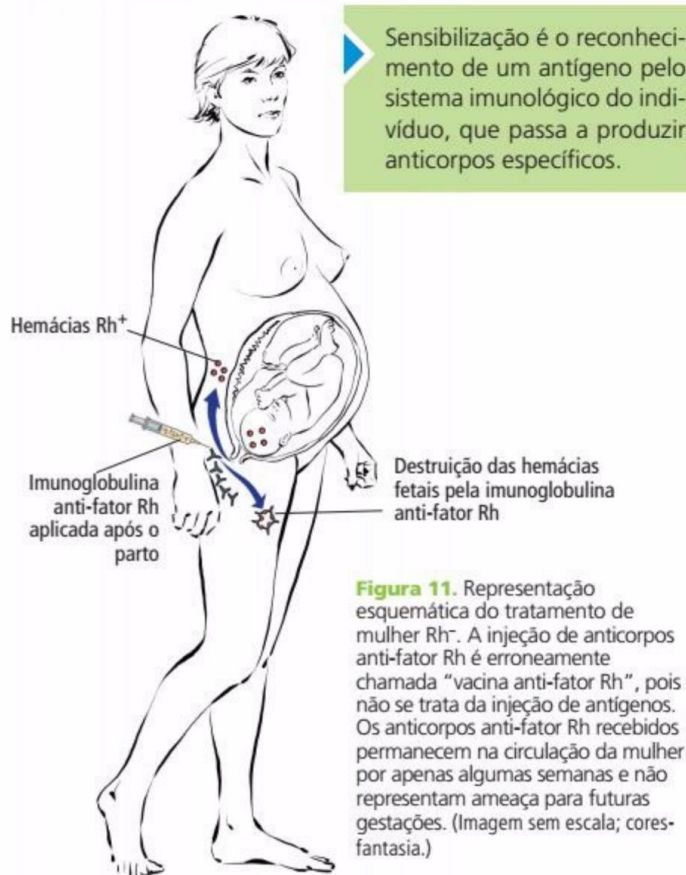


Figura 11. Representação esquemática do tratamento de mulher Rh-. A injeção de anticorpos anti-fator Rh é erroneamente chamada "vacina anti-fator Rh", pois não se trata da injeção de antígenos. Os anticorpos anti-fator Rh recebidos permanecem na circulação da mulher por apenas algumas semanas e não representam ameaça para futuras gestações. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



Figura 12. A fototerapia (ou seja, a exposição à fonte intensa de luz, como a que está sendo aplicada a esse recém-nascido), auxilia na degradação e na eliminação da bilirrubina, um dos produtos da hemólise. Observe a proteção ocular, para evitar lesões aos olhos da criança.

- Hemácias jovens nucleadas, chamadas **eritroblastos**, são comuns no sangue das crianças afetadas, o que explica o outro nome da doença: **eritroblastose fetal**.
- A bilirrubina causa a icterícia ao se depositar na pele e nas mucosas e pode, quando se concentra no encéfalo, provocar graves lesões neurológicas, consideradas as manifestações mais graves da eritroblastose fetal.

Sangue: sistema MN

Em 1927, Landsteiner e Philip Levine (1900-1987) descobriram os antígenos M e N, presentes na superfície das hemácias. Aplicados em coelhos ou em cobaias, esses antígenos estimulam a produção de anticorpos anti-M e anti-N, respectivamente.

Os grupos sanguíneos do sistema MN são geneticamente condicionados pelos alelos L^M e L^N , que são **codominantes** ($L^M = L^N$). O alelo L^M determina a produção do antígeno M; o alelo L^N , a produção do antígeno N (**tabela 3**).

A determinação do sistema MN não é considerada nas transfusões de sangue, nem se associa à incompatibilidade sanguínea materno-fetal.

Tabela 3. Grupos sanguíneos do sistema MN: genótipos e fenótipos

Genótipos	Fenótipos
$L^M L^M$	M
$L^M L^N$	MN
$L^N L^N$	N

DNA, detetive moderno

A incerteza da paternidade é tão antiga quanto a humanidade. A concepção ocorre no interior do corpo da mulher e, assim, não admite testemunhas. Em consequência, embora a mulher esteja sempre 100% certa de que as crianças por ela geradas são biologicamente suas (com exceção da possibilidade de trocas no berçário, um fenômeno novo na história da humanidade, já que no passado virtualmente todos os partos eram domésticos), o homem tem muitas vezes de lidar com a incerteza da paternidade [...]. Como reza o dito popular: “os filhos de minhas filhas meus netos são; os filhos de meus filhos serão ou não?”. [...]

Sérgio Danilo J. Pena¹

Uma pessoa alega ser filha de um astro de televisão e requer que a paternidade seja reconhecida; o juiz encarregado do caso solicita que seja retirada uma amostra de sangue dessa pessoa, da mãe e do suposto pai. Os policiais chegam ao local onde um assassinato foi cometido, e alguns fios de cabelo do criminoso são encontrados nas proximidades. Em outro lugar, uma mulher foi estuprada, e o médico que a atendeu coletou e conservou parte do esperma depositado na vagina.

Até bem pouco tempo atrás, situações como essas poderiam permanecer indefinidamente sem solução. No entanto, elas podem ser decididas com o auxílio das modernas técnicas de análise do DNA. Uma pequena quantidade de material biológico permite esclarecer com precisão quase absoluta crimes ou investigação de paternidade.

A técnica baseia-se no fato de que o DNA de cada pessoa possui pedaços que se sucedem de forma peculiar, em tamanhos e quantidades que são únicos para cada um de nós. Exceto gêmeos univitelinos, que são geneticamente idênticos, não há duas pessoas com o mesmo padrão de repetição desses fragmentos ao longo de suas moléculas de DNA. Trata-se de uma “impressão digital” molecular.

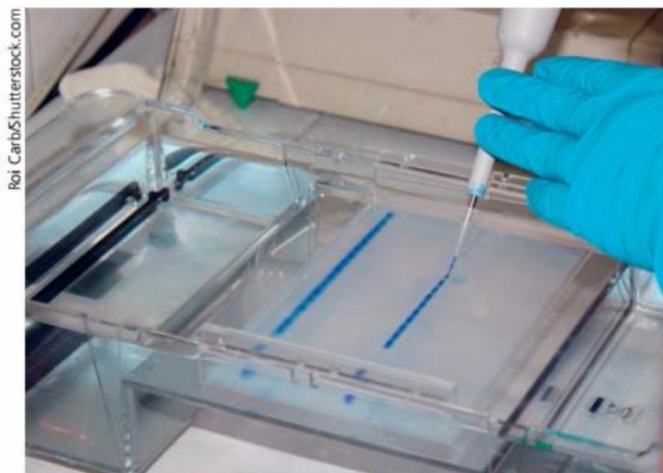


Figura 13. Técnica de manipulação de DNA utilizada, por exemplo, em testes de paternidade e em investigações criminais.

¹ PENA, S. D. J. O DNA como (única) testemunha em determinação de paternidade. *Bioética*. Brasília: Conselho Federal de Medicina, 1997. Disponível em: <http://revistabioetica.cfm.org.br/index.php/revista_bioetica/article/viewFile/386/486>. Acesso em: abr. 2016.

A “impressão digital” do DNA permite concluir, com exatidão de quase 100%, se o material genético encontrado em uma amostra de sangue, de cabelo, de espermatozoides ou de outro material biológico é de certa pessoa (**figura 14**).

Esse método de análise consiste em fragmentar o DNA a ser testado de células (leucócitos, espermatozoides, células do folículo piloso ou outras) por meio de endonucleases de restrição. Os fragmentos obtidos são separados por eletroforese e depois transferidos para uma fita de náilon.

Sondas de DNA (fragmentos curtos de DNA que se ligam com sequências específicas do DNA a ser testado) marcadas com

material radioativo são postas em solução, na qual se introduz a fita de náilon contendo o DNA aderido.

Depois a fita é lavada, para se remover o excesso de sondas de DNA em solução, e colocada em contato com um filme de raios X. O filme será marcado apenas onde houver fragmentos de DNA radioativo (sondas) ligados aos fragmentos de DNA da amostra que estavam na fita de náilon, estabelecendo-se um padrão de faixas que é absolutamente individual.

Nos casos de investigação de paternidade ou de identificação de crianças desaparecidas, o DNA do filho apresentará 50% de concordância com o DNA de cada um dos genitores.

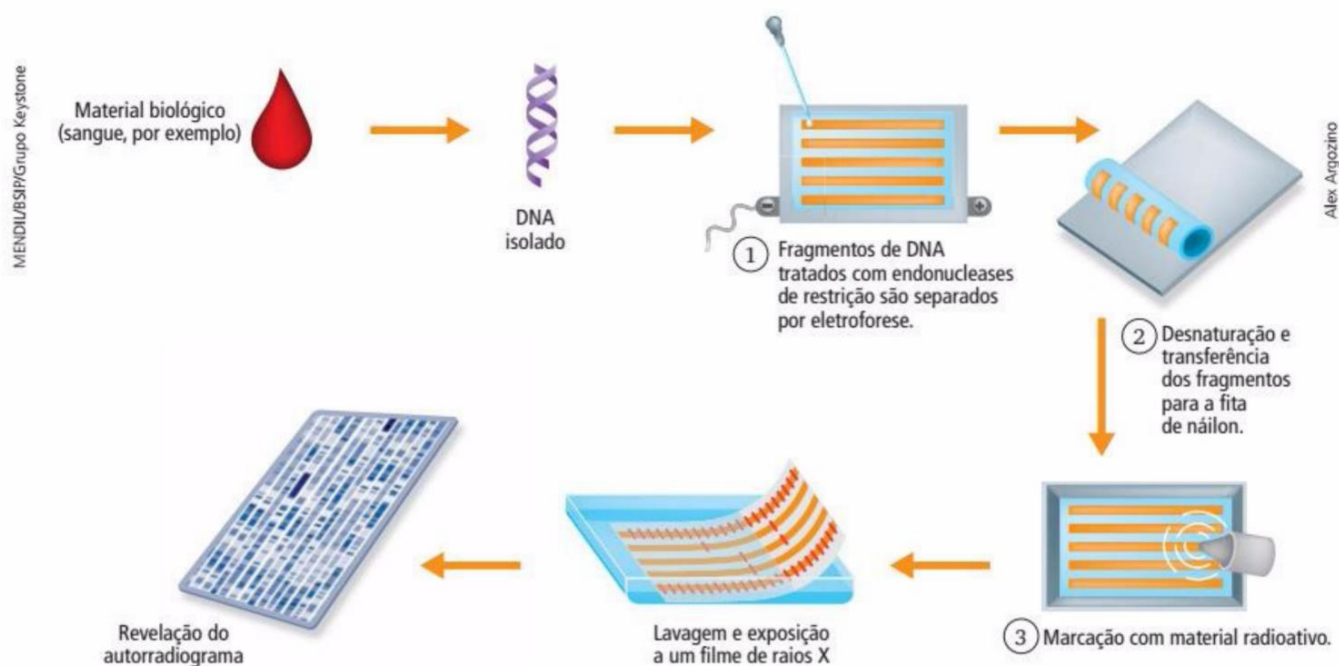


Figura 14. Etapas da “impressão digital” do DNA, técnica que permite a identificação precisa de indivíduos baseada na análise comparativa de seu material biológico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A notícia

Trash campeão

Os testes de DNA têm se mostrado ingrediente importante na busca pela audiência dos *talk shows* americanos. Todo dia, ao menos um casal é exposto a vaias ou aplausos do público com a revelação do resultado de exame de paternidade. Ricki Lake, por exemplo, quando levou um teste ao ar, aumentou

sua audiência em 15% em relação ao programa anterior. [...]

O assunto sério com que lidam estes programas suscita questões éticas. Os *talk shows* já tiveram seu momento crítico nos Estados Unidos em meados da década de 90, quando um convidado de Jenny Jones assassinou outro, três dias após a gravação. Na época, como conta

Alessandra Stanley [...], a preocupação da sociedade com a programação *trash* levou o Congresso a discutir o assunto. Oprah Winfrey e Jerry Springer, dos maiores programas de entrevistas, não usam DNA. “Somos mais diversão”, explica Linda Shafran, porta-voz do Jerry Springer Show. “Testes de paternidade são coisa séria demais para nós.”

Portal Observatório de Imprensa. **Trash Campeão**. Disponível em: <www.observatoriodaimprensa.com.br/artigos/mo270320025.htm>. Acesso em: abr. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia, responda:

1. Quando Linda Shafran diz que “testes de paternidade são coisa séria demais para nós”, a afirmativa demonstra preocupação, ironia ou desencanto? Justifique sua opinião.
2. Como você analisa a utilização dos testes de DNA por programas populares da TV brasileira?

1. Em uma espécie animal, a cor dos pelos é controlada por uma série de três alelos múltiplos P^P , P^M e P^B , em que o primeiro é dominante sobre os demais e condiciona pelagem preta; o segundo condiciona pelagem marrom e é dominante sobre o último, que determina pelagem branca. Um macho preto, cuja mãe era branca, é cruzado com uma fêmea branca. Qual é a possível descendência desse cruzamento?
2. Os antígenos do sistema ABO encontram-se na superfície das hemácias do sangue humano, e sua presença determina o tipo de sangue que a pessoa poderá receber no caso de uma transfusão sanguínea. Na tabela a seguir, com algumas informações ausentes, estão especificados os grupos sanguíneos, seus aglutinogênios (antígenos) e aglutininas (anticorpos).

Grupos sanguíneos	Aglutinogênios (nas hemácias)	Aglutininas (no plasma)
O	(1)	Anti-A e anti-B
A	A	(2)
(3)	B	(4)
AB	(5)	Nenhuma

Com base em seus conhecimentos, responda:

- a) Quais são os aglutinogênios a que correspondem os números (1) e (5), respectivamente?
 - b) Qual o grupo sanguíneo a que corresponde o número (3)?
 - c) Quais as aglutininas a que se referem (2) e (4), respectivamente?
 - d) Considerando-se apenas o sistema ABO, quais grupos sanguíneos são considerados doador e receptor universal, respectivamente?
3. (EEM-SP)
- A Beneficência Portuguesa de São Paulo precisa de sangue para que possa continuar a realizar cerca de cinquenta cirurgias por dia. Doadores, principalmente de sangue dos tipos O negativo e O positivo, podem contribuir.
- (Folha de S.Paulo).
- a) Por que o hospital solicita em especial esses dois tipos sanguíneos?
 - b) Qual a importância de se conhecer, em uma transfusão, as aglutininas presentes no plasma do receptor e os aglutinogênios nas hemácias do doador?
 - c) Um indivíduo com sangue do tipo A pode receber sangue de quais tipos do sistema ABO?
4. Um casal tem quatro filhos. Em relação ao sistema ABO, determinou-se que um pertence ao grupo A, outro ao grupo B, um terceiro ao grupo AB e o quarto filho ao grupo O.
- a) Quais são os possíveis genótipos do casal?
 - b) Qual dos filhos pode doar sangue para qualquer outro membro da família? Por quê?
 - c) Qual dos filhos, caso venha a se casar com uma pessoa do grupo O, não deverá ter filhos do grupo O? Por quê?
5. Os grupos sanguíneos humanos podem ser classificados em quatro tipos pelo sistema ABO (A, B, AB e O) e em dois tipos de acordo com o sistema Rh (positivo e negativo).
- a) Como o sangue de uma pessoa pode ser identificado em relação aos sistemas ABO e Rh?
 - b) Considerando-se apenas o sistema ABO, explique por que uma pessoa com sangue tipo O é doadora universal, mas só pode receber sangue do tipo O, enquanto uma pessoa com sangue AB é receptora universal, mas não pode doar para os outros tipos.
 - c) Um casal de pessoas com sangue A Rh+ pode ter um filho com sangue O Rh-?
6. Um homem e uma mulher, ambos Rh positivo, tiveram uma criança Rh negativo.
- a) Quais são os genótipos dos pais?
 - b) Qual é a probabilidade de que, em outra gestação, tenham uma criança do sexo masculino e Rh positivo?
7. (Unicamp-SP) Na eritroblastose fetal ocorre destruição das hemácias, o que pode levar recém-nascidos à morte.
- a) Explique como ocorre a eritroblastose fetal.
 - b) Como evitar sua ocorrência?
 - c) Qual o procedimento usual para salvar a vida do recém-nascido com eritroblastose fetal?
8. Uma criança foi localizada pela polícia, e um casal alega tratar-se de seu filho desaparecido. A análise do sangue do casal e da criança revelou o seguinte:
- Homem: grupo A, Rh negativo, M
 - Mulher: grupo B, Rh positivo, MN
 - Criança: grupo O, Rh positivo, N
- Esses achados confirmam a alegação do casal?

Transfusões de sangue

Texto 1

Estado nega pedido de família e autoriza transfusão de sangue em jovem testemunha de Jeová

Desde o último sábado [14/11/2009], os médicos da Unidade de Emergência do Agreste, em Arapiraca (AL), vivem um dilema para salvar a vida de uma jovem de 18 anos que foi atropelada em Piaçabuçu, litoral sul do estado. Adepta da religião Testemunhas de Jeová, a adolescente apresenta quadro de traumatismo craniano com perfuração e uma acentuada anemia.

Para os médicos da Unidade, a conduta ideal seria a transfusão de sangue para estabilizar a pressão sanguínea. O problema é que os pais da jovem pediram para vetar o procedimento, alegando convicções religiosas.

Como o caso ganhou repercussão no estado, a Secretaria de Estado de Saúde, mantedora da Unidade, resolveu tomar uma decisão polêmica: determinou que os médicos adotassem os procedimentos necessários, independentemente do consentimento familiar.

Antes da decisão, a família chegou a encaminhar um medicamento que ajudaria o corpo da jovem a produzir sangue, substituindo a transfusão. Mas, segundo os médicos, o remédio não teve o efeito desejado e o estado de saúde da paciente se agravou.

Em nota publicada na noite desta quarta-feira (18), a secretaria informa que, “em função do quadro clínico desta paciente, adotará os procedimentos médicos necessários para assegurar sua evolução, mesmo que esta tenha que ser submetida a uma eventual transfusão sanguínea, alheia ou não à vontade da família”.

Segundo o último boletim médico, a jovem segue internada em estado grave, mas estável. Em contato com o **UOL Notícias** nesta quinta-feira (19), o diretor administrativo da Unidade de Emergência, [...], não quis revelar se houve transfusão de sangue na paciente na noite de ontem ou na manhã de hoje, mas assegurou que a conduta médica indicada pelos profissionais está sendo cumprida à risca.

“Existe resolução do CFM [Conselho Federal de Medicina] liberando os médicos para transfusão em casos de risco iminente de morte. A paciente é maior de idade e só ela poderia decidir. Mas como ela está em coma, mesmo que exista um documento assinado por ela [como afirma a família], que até agora não nos foi apresentado, iríamos adotar as condutas médicas aconselhadas. Quando ela acordar, terá conhecimento dos procedimentos que foram realizados. Até lá, tudo será sigiloso”, informou, citando que a Constituição “garante direito à vida independente da cor, raça, credo ou religião”.

Família descarta ir à Justiça

A família da jovem não quis conversar com a imprensa, mas o ancião das testemunhas de Jeová em Arapiraca, J. Vieira, falou em nome dos parentes e explicou que a mãe da jovem não pensa em ingressar na Justiça para evitar ou mesmo processar os médicos e o hospital que realizaram a transfusão. “Nosso objetivo não é de ir ao confronto com juiz. Não levaremos o caso à Justiça em hipótese alguma. Se um juiz quiser obrigar, e o médico quiser fazer, é um problema deles. Mas nós temos direito de negar. Como ela está inconsciente, a mãe tem a tutela e informou que não permitiria a transfusão”, explicou.

Vieira disse que existem tratamentos alternativos ao uso de sangue e que a jovem estaria respondendo bem ao remédio que lhe foi dado no hospital. “Nós defendemos a vida, mas dentro daquilo que é empregado por Deus. Nós não queremos morrer sem direito a um atendimento, tanto que existe uma comissão de integração com os hospitais, com mais de 60 médicos, que defendem tratamentos alternativos sem uso de sangue. Essa comissão enviou ao hospital a eritropoetina, substância que ajuda a medula a produzir hemácias. Ela está reagindo”, defendeu.

Segundo Vieira, qualquer seguidor testemunha de Jeová deve carregar consigo uma declaração pedindo que não haja transfusão. “Nós [adeptos] assinamos essa declaração e portamos esse documento em nossas carteiras, que pede para que não se aplique sangue. Como foi um caso urgente, não sabemos se ela portava esse documento, mas a mãe já se manifestou”, declarou o ancião, que acredita que a jovem é vítima de preconceito. “Se uma pessoa pedisse para não receber sangue, mas não fosse testemunha de Jeová, não teria essa repercussão”.

Vieira afirmou ainda que a religião não aceita a transfusão por “preferir a palavra de Deus à palavra dos homens”. “A Bíblia fala explicitamente da proibição do uso do sangue. Há trechos que falam explicitamente que os crentes não devem fazer uso do sangue, assim como devem evitar a idolatria e o sexo antes do casamento”, finalizou.

Especialista critica tratamento alternativo

O médico hematologista e presidente do Sindicato dos Médicos de Alagoas, W. Galvão, afirmou que a medicação levada pela família não substitui a transfusão. “De jeito nenhum. Esse remédio estimula a medula a produzir mais sangue, mas isso demora. E em uma paciente que está politraumatizada, o organismo não vai dar resposta”, explicou.

Segundo ele, o médico de plantão na Unidade de Emergência no domingo chegou a ligar para ele e questionar o dilema. “Disse a ele: faça. Mas ele ficou receoso da pressão familiar e não fez. Mas na minha experiência de 24 anos como médico, já fiz várias vezes em pacientes graves, independentemente de a família aceitar. Respeitamos a convicção religiosa, mas para nós, médicos, o que vale é salvar as vidas”, afirmou.

Falando como representante da categoria, Galvão assegurou que o departamento jurídico do sindicato já foi acionado para defender o profissional que realizar o procedimento à revelia familiar. “Acredito que nenhum juiz do mundo condena médicos por isso”, disse.

MADEIRO, C. Estado nega pedido de família e autoriza transfusão de sangue em jovem testemunha de Jeová. **UOL Notícias**, 19 nov. 2009. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2009/11/19/ult5772u6253.jhtm>>. Acesso em: abr. 2016.

Texto 2

Dilemas éticos na hemotransfusão em Testemunhas de Jeová: uma análise jurídico-bioética

As TJ [Testemunhas de Jeová] se contrapõem à prática médica da hemotransfusão, mesmo que ela represente a continuidade da vida, pois aceitar esse procedimento, além do confronto às suas convicções religiosas, o exporá às consequências advindas do código religioso, acarretando-lhes incalculáveis e irreparáveis danos morais, religiosos e mesmo existenciais.

Os dilemas éticos que envolvem a assistência às TJ podem ser resolvidos por meio de hemoterapias alternativas [...]. Na impossibilidade desses procedimentos, instaura-se uma aparente colisão entre o direito fundamental à vida e o direito fundamental à liberdade de consciência e de crença que obrigará o profissional a decidir pela prevalência da dignidade da pessoa humana como limite e fundamento do exercício dos demais direitos.

Quando a hemotransfusão é impreterível e inexiste decisão consensual entre médico-paciente, a instituição pedirá autorização judicial para proceder à transfusão.

Além do ordenamento jurídico, a tomada de decisão é legitimada pelos princípios bioéticos inscritos no código de ética do profissional, de modo que a intervenção não configura delito de constrangimento ilegal. Quando não há iminente risco de vida e a TJ é capaz de manifestar livremente a sua vontade de não transfusão, deve-se respeitar sua autonomia da vontade e da crença religiosa. E havendo ou não risco de vida, é preciso esclarecer os riscos e os benefícios da hemoterapia e utilizar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que deverá ser assinado pela TJ ou seu representante.

Conclui-se que o ordenamento jurídico não atribui valor absoluto à liberdade religiosa, e na iminência de risco de vida, a intervenção médica, mesmo sem o consentimento do paciente ou de seu representante legal, não se constitui crime, razão porque, apesar dos riscos para os profissionais, não há história de condenação no país.

[...] a hemotransfusão em TJ requer uma discussão que envolva cuidados assistenciais condizentes com vários tipos de tecnologias, a exemplo do uso de instrumentos e equipamentos (tecnologia dura), de conhecimentos estruturados (tecnologia leve-dura), e do estabelecimento de relações profissional-usuários (tecnologias leves).

O estudo ora realizado apresenta lacunas no concernente ao enfoque das tecnologias leves, dado que não se detectou, no material acessado, construtos enfocando temas como humanização, acolhimento, vínculo, dentre outros, relacionados com a hemotransfusão em TJ, de modo que se sugerem novos estudos enfocando essa temática.

FRANÇA, I. S. X.; BAPTISTA, R. S.; BRITO, V. R. S. Dilemas éticos na hemotransfusão em Testemunhas de Jeová: uma análise jurídico-bioética. **Acta Paulista de Enfermagem**, Campina Grande, v. 21, n. 3, 2008. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/ape/v21n3/pt_19.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

É importante que a mediação do debate desta atividade promova a visão pluralista e encaminhe o diálogo entre os alunos no sentido de valorizar o respeito e a tolerância, estimulando a promoção de valores compartilhados socialmente, atentando para se evitar desconforto entre os alunos, motivado por opções religiosas.

1. Aponte a ideia central de cada um e identifique os principais argumentos de cada autor.
2. Os textos expressam opiniões convergentes ou antagônicas? Localize palavras e/ou frases que expressam convergência ou oposição.
3. Qual é sua opinião a respeito?
4. Discuta as opiniões dos autores e a sua própria opinião, confrontando-as com a dos seus colegas.

▶ CAPÍTULO 12

Mendel e variações

Herança de dois ou mais pares de alelos



Wall Counts/Bettmann/Corbis/Latinstock

Little Rock, no estado norte-americano do Arkansas, em 4 de setembro de 1957. À frente, Elizabeth Eckford, com 15 anos, às suas costas, Hazel Bryan, também com 15 anos.

A imagem da intolerância

[...] Eram apenas nove os jovens negros selecionados pela direção do principal colégio da cidade, o *Central High School*, para cumprir a ordem judicial de integração racial no país. Segundo David Margolick, autor do recém-publicado **Elizabeth and Hazel: Two Women of Little Rock** (ainda inédito no Brasil), a peneira foi cautelosa. A busca se concentrou em colegiais que moravam perto da escola, tinham rendimento acadêmico ótimo, eram fortes o bastante para sobreviver à provação, dóceis o bastante para não chamar a atenção e estoicos o suficiente para não revidar a agressões. [...]

Assim nasceu o grupo que entraria na história dos direitos civis americanos como “Os Nove de Little Rock”. Eram todos adolescentes bem-comportados, com sólidos laços familiares, filhos de funcionários públicos e integrantes da ainda incipiente classe média negra sulista. Entre eles, a reservada Elizabeth Eckford, de 15 anos.

Os pais dos nove pioneiros foram instruídos a não acompanharem os filhos naquele 4 de setembro de 1957, pois as autoridades temiam que a presença de negros adultos inflamasse ainda mais os ânimos. Por isso, os escolhidos agruparam-se na casa de uma ativista dos direitos civis e de lá seguiram juntos para o grande teste de suas vidas. Menos Elizabeth, que não recebera o aviso para se encontrar com os demais e partiu sozinha rumo a seu destino.

De longe ela avistou a massa de alunos brancos passando desimpedidos pelo cordão de isolamento montado pela Guarda Nacional do Arkansas. Ao tentar fazer o mesmo, foi barrada por três soldados que ergueram seus rifles. Elizabeth recuou, procurou passar pela barreira de soldados em outro lugar da caminhada e a cena se repetiu. Alguém, de longe, gritou “Não a deixem entrar” e uma pequena multidão começou a se formar às suas costas. Foi quando Elizabeth se lembra de ter começado a tremer. [...]

Como pano de fundo, começou a ouvir invectivas de “Vamos linchá-la!”, “Dá o fora, macaca”, “Volta pro teu lugar”, frases proferidas por vozes adultas e jovens. Atordoada, dirigiu-se a uma senhorinha branca — a mãe lhe ensinara que em caso de apuro era melhor procurar ajuda entre idosos. A senhorinha, porém, lhe cuspiu no rosto.

Como não conseguisse chegar à escola, a adolescente então tomou duas decisões: não correr (temeu cair se o fizesse) e andar um quarteirão até o ponto de ônibus mais próximo. Um aglomerado de cidadãos brancos passou a seguir cada passo seu. Imediatamente às suas costas vinha um trio de adolescentes, alunas do colégio. Entre elas, Hazel Bryan.

“Vai pra casa, negona! Volta para a Á” — clic — “frica!”

Segundo o autor do livro centrado no episódio, foi este o instante em que a câmera de Will Counts captou a imagem que se tornaria histórica.

Hazel, de quinze anos e meio, não carregava qualquer livro escolar. Apenas uma bolsa e um inexplicável jornal. Ela não planejara nada para aquela manhã. Vestira-se com o esmero que era sua marca — roupas e maquiagem ousadas para uma adolescente daquela época — e arvorou-se de audácia ao ver tantos fotógrafos e soldados da Guarda Nacional. Nada além disso. O resto pode ser debitado à formação que recebera em casa — família de origem rural, ideário fundamentalista cristão, atitude racial aprendida com o pai.

A foto que correu mundo e fez a alegria da União Soviética naquele auge da Guerra Fria é tudo, menos estática. Ela fala, grita, tem vida e movimento. Mostra Elizabeth num vestido de algodão feito em casa, estalando de branco, com um fichário e um livro apertados contra o peito e medo escondido por óculos escuros. Em meio à massa de brancos que a seguem, Hazel. Olhos e sobrancelhas franzidos, a boca aberta contorcida pelo ódio e pela raiva.

Foi assim que Elizabeth e Hazel se “encontraram” sem se conhecerem. E é o que as manteve ligadas, ora contra, ora por vontade própria, por mais de cinquenta anos.

Assim como Hazel se converteu na imagem oficial da intolerância, a caminhada solitária de Elizabeth virou bandeira para toda uma geração de atletas, advogados, professores negros decididos a não recuar. Décadas depois do episódio, Bill Clinton, que governou o mesmo Arkansas nos anos 80, admitiu o quanto a foto fez com que ele acertasse seu compasso moral. [...]

O episódio daquela manhã de 1957 levou Little Rock à combustão e convenceu o presidente Dwight Eisenhower a enviar tropas da 101ª Divisão Aerotransportada para assegurar a integração escolar decidida três anos antes pela Suprema Corte. Ironicamente, Hazel e Elizabeth jamais chegaram a se cruzar nos corredores da *Central High School*, pois os pais da menina branca, assustados com a repercussão da foto, preferiram trocá-la de escola. Mas “Os Nove de Little Rock”, uma vez admitidos, viveram anos de pavor. Semana após semana, foram alvo de agressões — desde cusparadas a cacos de vidro no chão do chuveiro na hora do banho. Elizabeth, primeira a ser empurrada escadaria abaixo, só teve o rosto preservado por ter usado como escudo o mesmo arquivo que segura na foto.

[...]

HARAZIM, D. Ódio revisitado. *Revista Piauí*, ed. 62, nov. 2011.

Para subsidiar as importantes discussões que este capítulo certamente permitirá, sugerimos os textos **Antropologia, raça e os dilemas das identidades na era da genômica** (disponível em: <<http://tub.im/dm39dk>>. Acesso em: mar. 2016) e **Qual “retrato do Brasil”? Raça, biologia, identidades e política na era da genômica** (disponível em: <<http://tub.im/yga9zf>>. Acesso em: mar. 2016).

O princípio da segregação independente

As populações constituem grupos diversificados quanto à aparência e a determinados aspectos fisiológicos. Tais diferenças resultam, em parte, do patrimônio genético e, em certa medida, refletem as influências ambientais que os organismos sofrem no decurso de sua vida.

Algumas características humanas, como a altura e a cor da pele, são resultantes da ação simultânea de mais de um par de alelos, e não se explicam pelo modelo clássico da primeira lei de Mendel.

A primeira lei de Mendel baseia-se na segregação dos pares de alelos durante a formação dos gametas e na possibilidade de esses gametas se fundirem em todas as combinações com a mesma probabilidade. Quando em um cruzamento se analisa apenas uma característica, as proporções esperadas entre os fenótipos nas gerações F_1 e F_2 são conhecidas.

Quais devem ser os resultados obtidos se, em um cruzamento, duas características forem acompanhadas ao mesmo tempo? No **poli-hibridismo**, faz-se a análise concomitante de duas ou mais características.

Entre as características estudadas por Mendel, estavam a forma e a cor das vagens das ervilhas-de-jardim. Dois pares de alelos são responsáveis pela determinação dessas características: o alelo dominante C determina vagens infladas, enquanto o alelo recessivo c condiciona vagens constrictas ("apertadas"). Em outro loco gênico, o alelo dominante A determina vagens verdes, enquanto o alelo recessivo a condiciona vagens amarelas.

No cruzamento entre duas plantas homozigotas para os dois pares de alelos, uma de vagens infladas verdes (genótipo $CCAA$) e outra de vagens constrictas amarelas (genótipo $ccaa$), todos os descendentes terão vagens infladas verdes (genótipo $CcAa$). Estando os pares de alelos Cc e Aa em pares diferentes de cromossomos homólogos, a separação dos alelos de um dos pares, durante a meiose, não interfere na separação dos alelos do outro par, de tal forma que os gametas podem se formar em quatro combinações possíveis, nas mesmas proporções (**figura 1**).

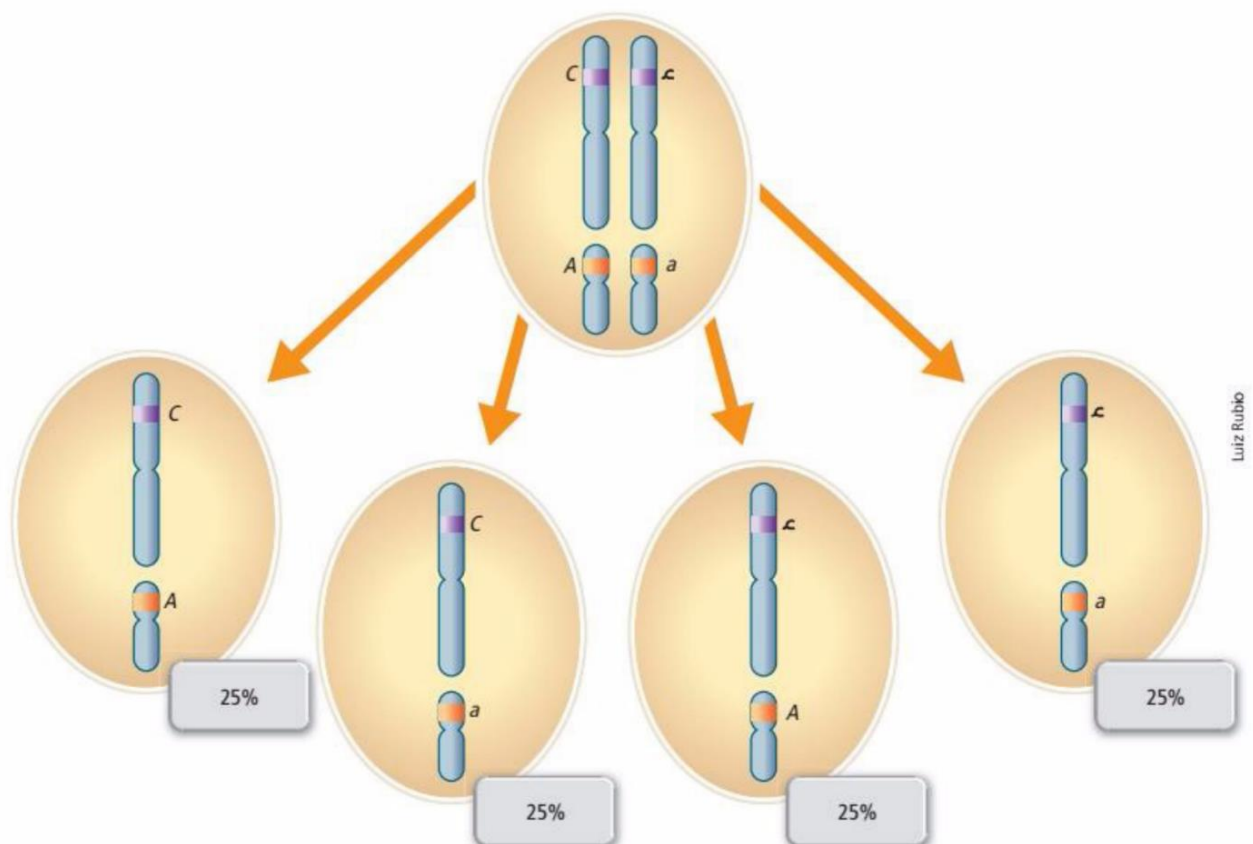


Figura 1. Devido à segregação independente, a planta de genótipo $CcAa$ forma gametas em quatro combinações de alelos, nas mesmas proporções. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Na geração F_2 , esses gametas podem se combinar de várias maneiras, todas com a mesma probabilidade (**figura 2**).

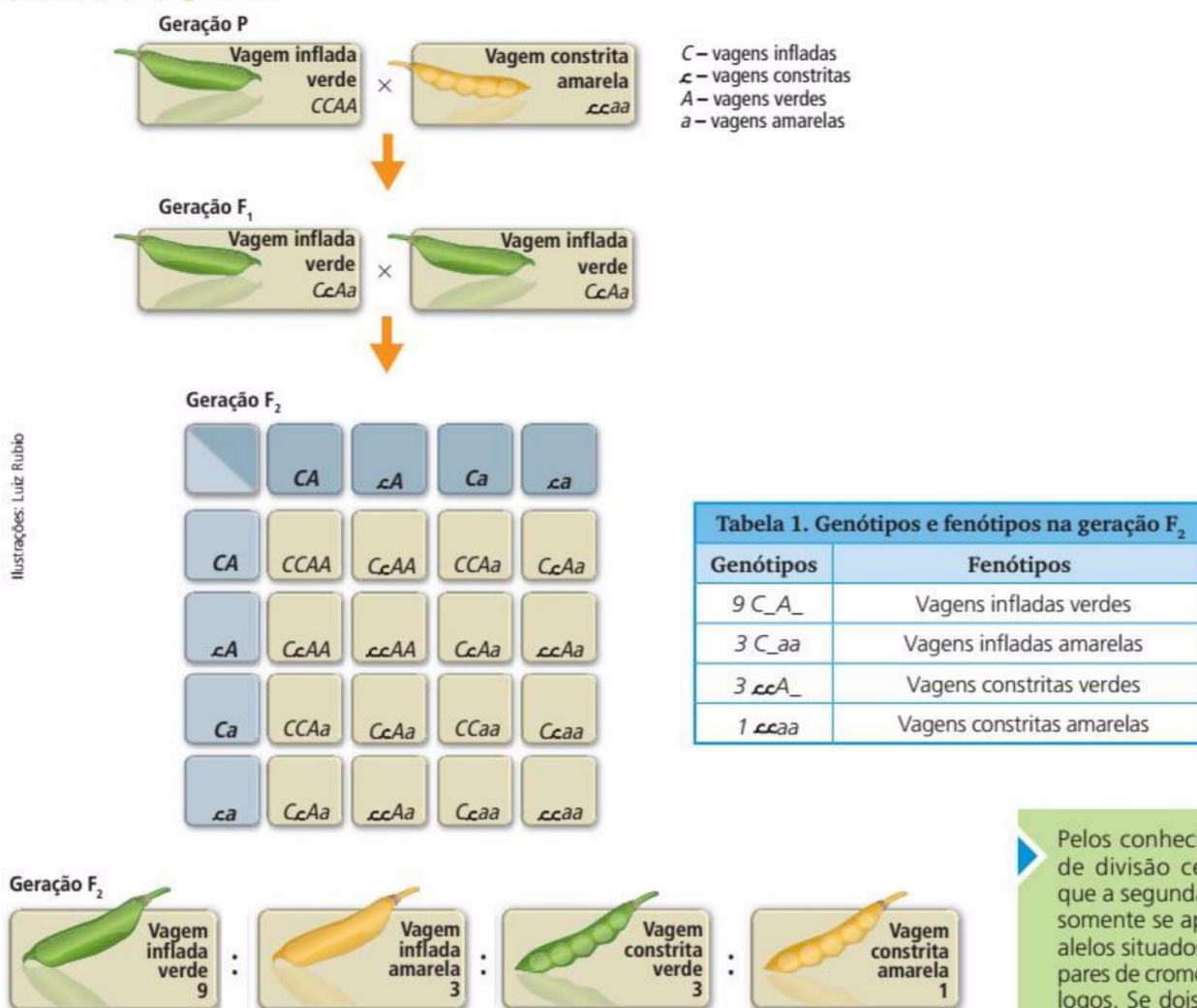


Figura 2. Na geração P, plantas puras (homozigotas) de vagens infladas verdes são cruzadas com plantas puras de vagens constrictas amarelas. Na geração F_1 , todos os descendentes (híbridos ou heterozigotos) são plantas de vagens infladas verdes. Na geração F_2 , as características aparecem em combinações não existentes na geração P. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Estudando vários cruzamentos em que acompanhava duas características ao mesmo tempo, Mendel enunciou sua **segunda lei** (ou **lei da segregação independente dos fatores**): “Dois ou mais pares de fatores segregam-se independentemente durante a formação dos gametas, nos quais se recombinam ao acaso”.

Pelos conhecimentos atuais de divisão celular, sabe-se que a segunda lei de Mendel somente se aplica a pares de alelos situados em diferentes pares de cromossomos homólogos. Se dois ou mais pares de alelos estão localizados em um mesmo par de cromossomos homólogos, há tendência de que permaneçam unidos durante a meiose. Nessa circunstância, denominada **ligação fatorial**, a segunda lei de Mendel não é válida.

► A segregação independente e o cálculo de tipos de gameta

Determinam-se quantos tipos diferentes de gameta um indivíduo pode gerar conhecendo-se seu genótipo. Essa quantidade é dada por 2^n , em que n é o número de pares de alelos em heterozigose, no genótipo analisado. Observe este exemplo:

Tabela 2. Cálculo da quantidade de tipos de gameta		
Genótipos	Pares de alelos em heterozigose (n)	Número de tipos de gameta (2^n)
AA Bb	1	$2^1 = 2$
Aa BB Cc	2	$2^2 = 4$
AA Bb Cc Dd	3	$2^3 = 8$
Aa BB Cc Dd Ee	4	$2^4 = 16$
Aa Bb Cc Dd Ee Ff	5	$2^5 = 32$
Aa Bb Cc Dd Ee Ff	6	$2^6 = 64$

Interação gênica simples

A interação gênica simples está relacionada com os chamados **genes complementares**, aqueles que, quando presentes em um mesmo indivíduo, determinam fenótipo diferente daquele que expressam quando isolados.

A cor da plumagem dos periquitos-australianos, por exemplo, é determinada pela interação de dois pares de alelos: o alelo *A* determina a produção de pigmento amarelo, o alelo *a* condiciona a ausência desse pigmento; o alelo *B* determina a produção de pigmento azul, o alelo *b* condiciona a ausência desse pigmento

(figura 3). Uma ave de genótipo *AABB* produz ambos os pigmentos, e sua plumagem é verde; no homozigoto *aabb*, nenhum pigmento é produzido, e a plumagem é branca.

No cruzamento de um macho verde homozigoto (*AABB*) com uma fêmea branca (*aabb*), todos os descendentes são verdes. Se as aves da geração F_1 , heterozigotas para os dois pares de alelos (*AaBb*), forem cruzadas entre si, obtém-se a geração F_2 , na qual se encontram as seguintes **classes fenotípicas** (figura 3):

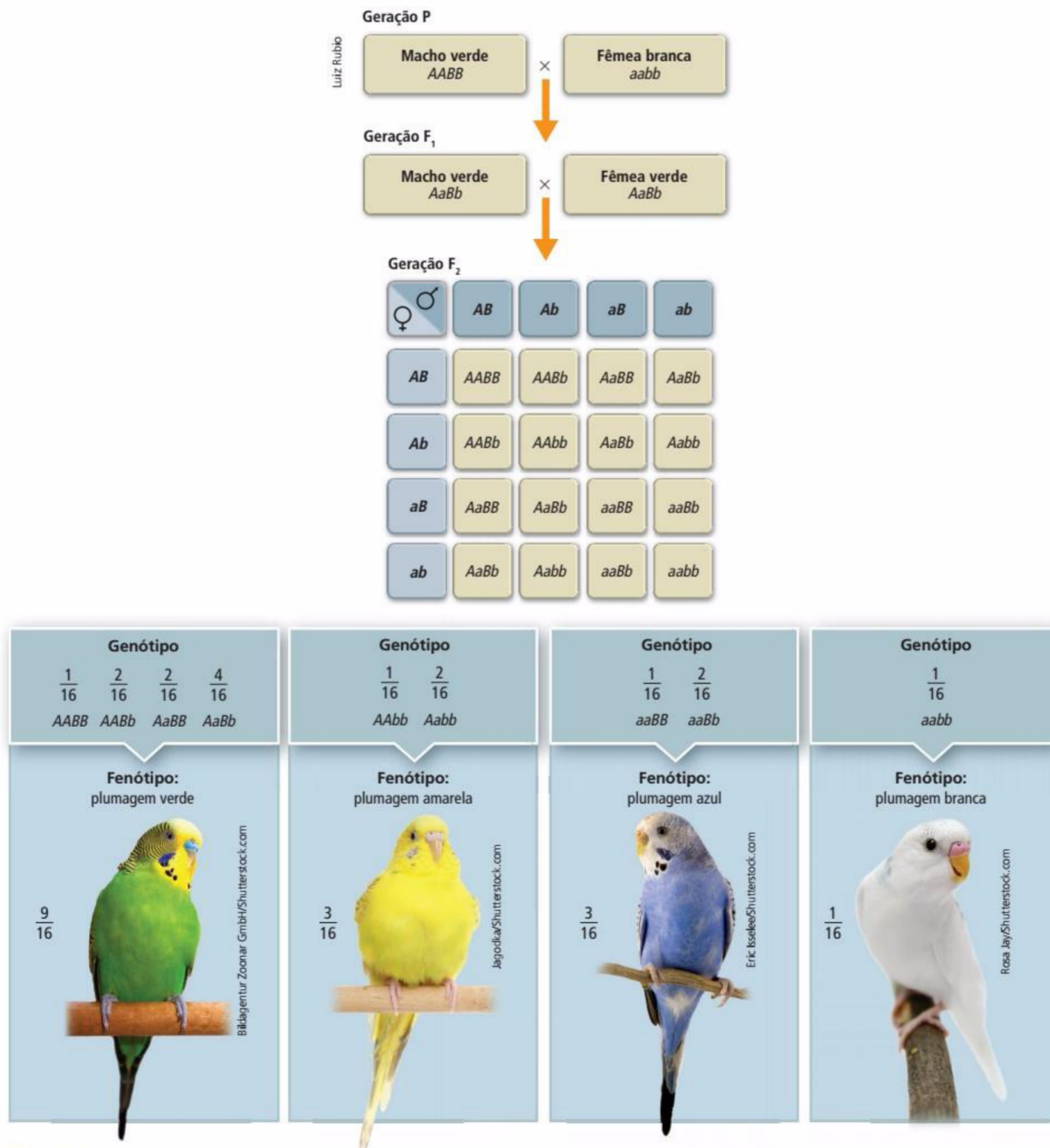


Figura 3. Genótipos e fenótipos de periquito-australiano.

Outro exemplo de interação gênica simples é o formato da crista de galináceos (**figura 4**), determinado por dois pares de alelos que interagem: o alelo *R* determina crista rosa; o alelo *E* condiciona crista ervilha. As aves *rree* possuem crista simples. Quando ambos os alelos dominantes estão presentes em uma mesma ave, a crista é do tipo noz.

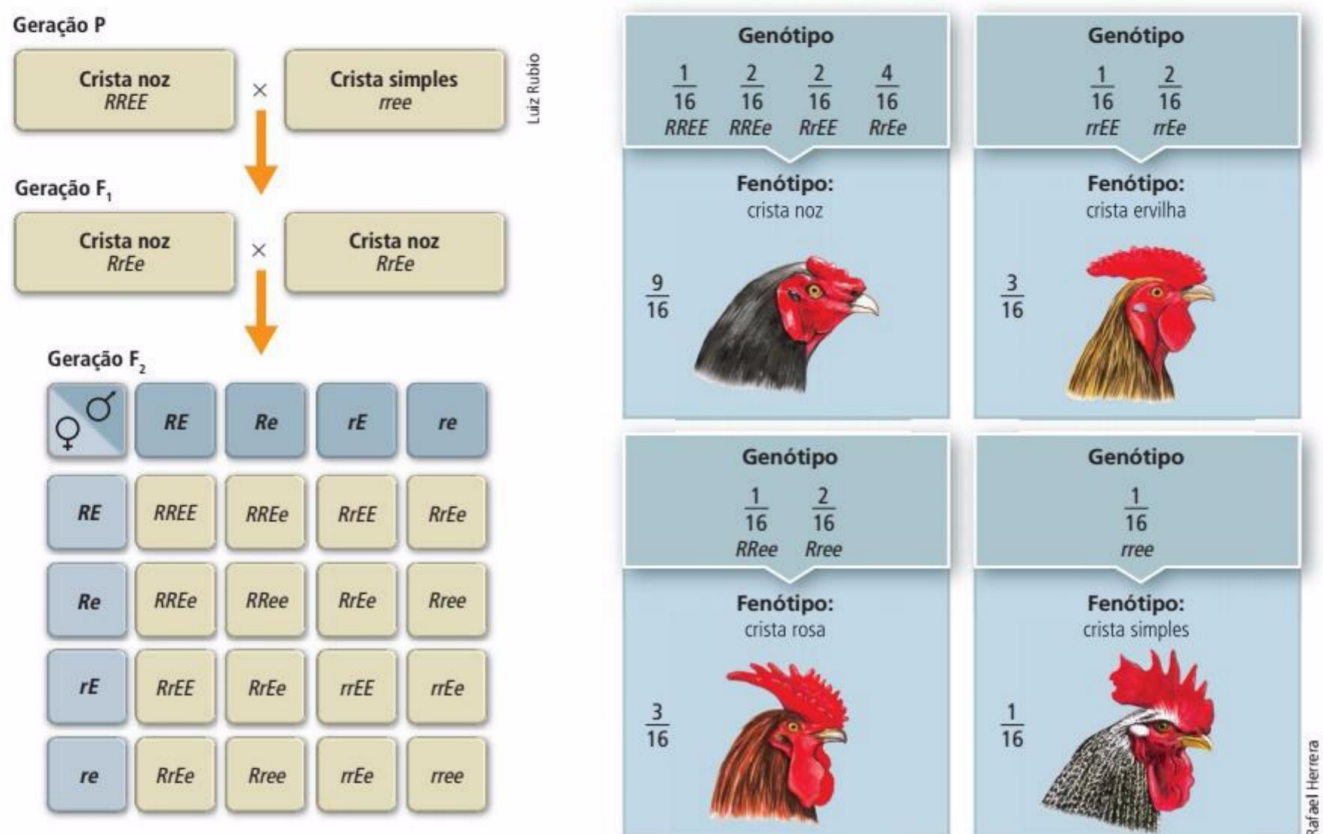


Figura 4. Formato da crista em galináceos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Epistasia

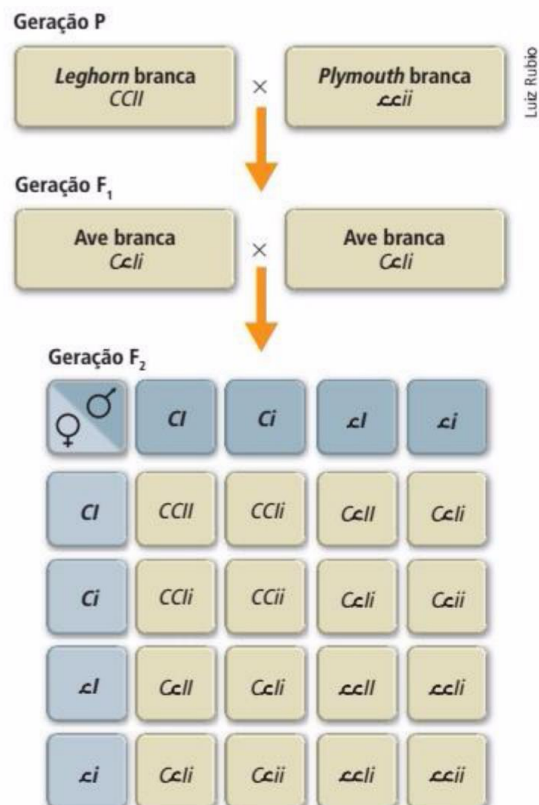
Ocorre epistasia quando um alelo de um gene impede a expressão fenotípica de outro gene, situado em loco gênico distinto. O alelo inibidor chama-se **epistático**; o inibido é o **hipostático**.

Em galináceos, quando se cruzam aves brancas da variedade *Leghorn* com aves brancas da variedade *Plymouth*, todos os descendentes são brancos. Entretanto, quando esses descendentes (brancos) são cruzados entre si, surgem aves brancas e coloridas. Dois pares de alelos estão envolvidos nessa herança: o alelo *C* condiciona plumagem colorida, o alelo *c* determina plumagem branca; o alelo *I* impede a produção de pigmentos (alelo epistático), o alelo *i* permite a produção de pigmentos.

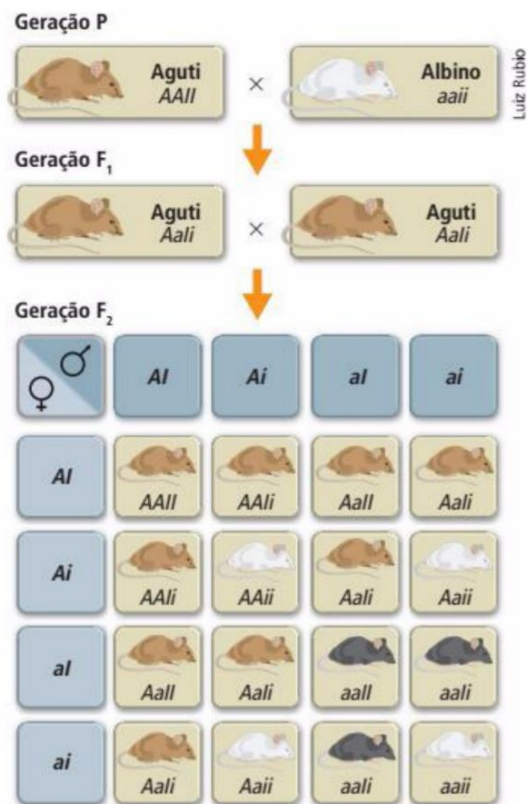
Trata-se de um caso de **epistasia dominante**, pois o alelo epistático *I* tem dominância não apenas sobre o alelo *i*, mas também sobre o par *Cc*, impedindo a produção de pigmentos em animais com qualquer genótipo do par *Cc*.

Apesar de não apresentar o alelo inibidor *i*, o animal de genótipo *ccii* é branco, pois falta a ele o alelo dominante *C*, que determina a produção de pigmento (**tabela 3**).

Tabela 3. Epistasia dominante: proporções genotípica e fenotípica		
Proporções	Genótipos	Fenótipos
9	<i>C_I_</i>	Aves brancas
3	<i>C_ii</i>	Aves coloridas
3	<i>ccI_</i>	Aves brancas
1	<i>ccii</i>	Aves brancas



Em ratos de laboratório (*Rattus norvegicus*), há três padrões de pelagem: o aguti (cinza ou castanho), o preto e o albino. O cruzamento de um animal homozigoto aguti com um albino resulta apenas em animais aguti. Se esses descendentes forem cruzados entre si, a prole terá animais aguti, pretos e albinos. A cor dos pelos é controlada por dois pares de alelos: *A* (aguti), *a* (preto), *I* (permite a produção de pigmentos), *i* (epistático, pois impede a produção de pigmentos).



Este é um caso de **epistasia recessiva**, porque o alelo *i* (epistático sobre *A* e *a*) é recessivo, isto é, só impede a produção de pigmentos em indivíduos homozigotos *ii*. Na geração F₂, obtém-se uma proporção de 9 animais aguti para 4 albinos e 3 pretos (tabela 4).

Tabela 4. Epistasia recessiva: proporções genotípica e fenotípica		
Proporções	Genótipos	Fenótipos
9	$A_I_$	Aguti
3	A_ii	Albino
3	$aaI_$	Preto
1	$aaII$	Albino

Herança quantitativa (ou poligênica)

Em um rebanho bovino, é fácil diferenciar os animais com chifre dos animais sem chifre (mochos). Em um canteiro de ervilhas, plantas com flores púrpura são bastante diferentes das

plantas com flores brancas. Havendo classes fenotípicas bem distintas, as características possuem **variação qualitativa** ou **descontínua** (figura 5a).

Entretanto, existem características que têm **variação contínua** ou **gradativa**, pois as diferenças entre indivíduos são pequenas para colocá-los em classes fenotípicas completamente distintas. As estaturas dos alunos de uma escola, por exemplo, distribuem-se segundo uma curva “em sino” (curva normal ou curva de Gauss) (figura 5b).

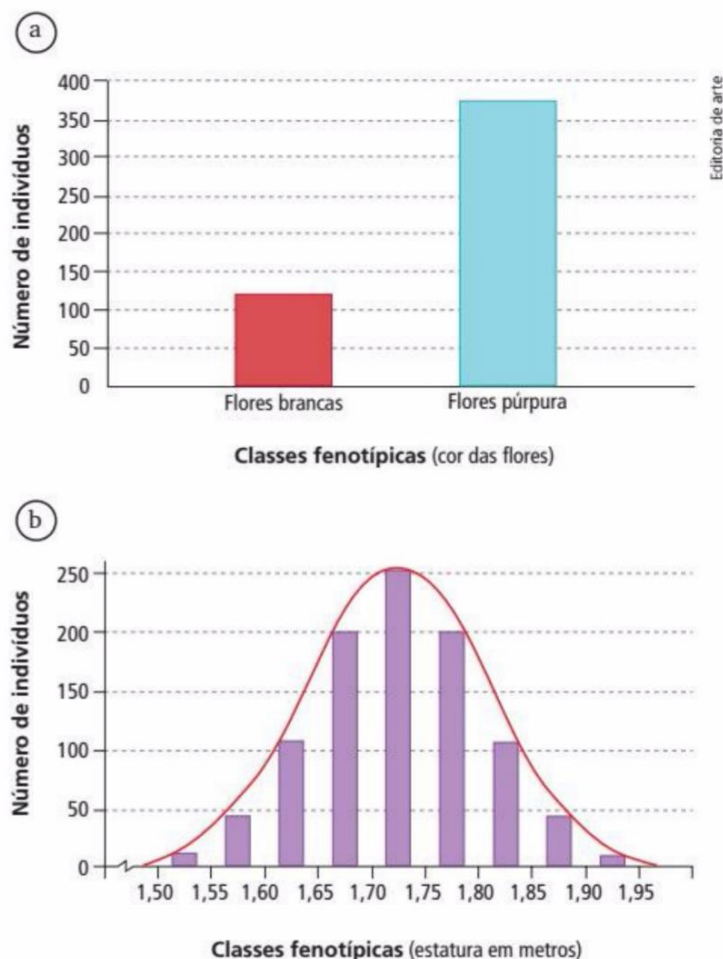


Figura 5. (a) Distribuição de um grupo de plantas de ervilha-de-cheiro de acordo com a cor das flores. Note que há duas classes fenotípicas claramente distintas. (b) Distribuição dos alunos de uma escola de acordo com a estatura. A variação é gradual (em curva de Gauss ou curva normal), e as classes fenotípicas não são nitidamente identificáveis.

Essas duas características, **fenótipo com variação contínua** e **distribuição fenotípica em curva de Gauss**, indicam que a herança é determinada por vários pares de alelos, tratando-se de **herança quantitativa** (ou **herança poligênica**). Nesse caso, cada alelo pode contribuir para certa variação do fenótipo a partir de um valor mínimo chamado **fenótipo residual**. Os alelos não são dominantes ou recessivos, mas, sim, **aditivos** ou **não aditivos**.

Um exemplo é a determinação do comprimento das espigas de milho, condicionada por dois pares de alelos (*A'* e *A*, *B'* e *B*): os alelos *A'* e *B'* são aditivos; os alelos *A* e *B* são não aditivos.

As plantas de genótipo *A'A'B'B'* possuem quatro alelos aditivos (**genótipo extremo máximo**) e espigas com 16,8 cm em média; aquelas de genótipo *AABB* não possuem nenhum alelo aditivo (**genótipo extremo mínimo**) e suas espigas têm 6,6 cm em média.

Portanto, o fenótipo residual, ou seja, o comprimento mínimo das espigas, é de 6,6 cm. Como a diferença entre o tamanho máximo e o tamanho mínimo é de 10,2 cm e essa diferença é determinada pela presença de quatro alelos aditivos, conclui-se que cada alelo contribui com 2,55 cm de acréscimo no tamanho das espigas.

$$\begin{aligned} \text{Contribuição de cada alelo aditivo} &= \\ &= \frac{\text{fenótipo máximo} - \text{fenótipo mínimo}}{\text{número máximo de alelos aditivos}} = \\ &= \frac{16,8 \text{ cm} - 6,6 \text{ cm}}{4} = \frac{10,2 \text{ cm}}{4} = \\ &= 2,55 \text{ cm por alelo aditivo} \end{aligned}$$

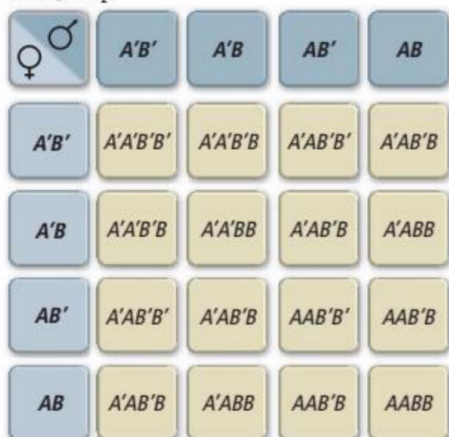
Geração P



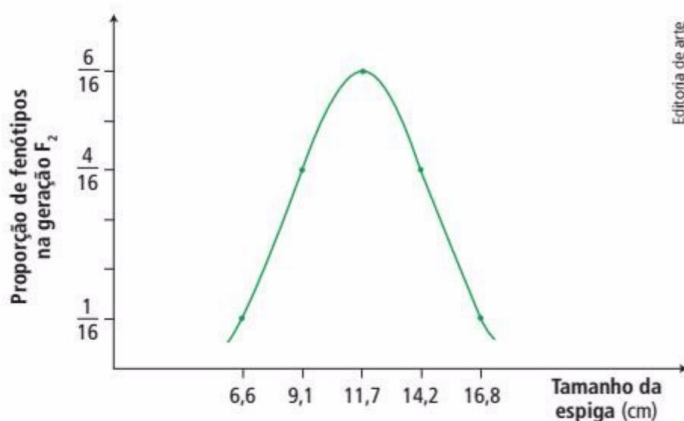
Geração F_1



Geração F_2



Na geração F_2 , nota-se que a distribuição dos diferentes fenótipos é contínua e obedece a uma curva normal.



A estatura de uma pessoa não é determinada apenas pelo genótipo, mas recebe influência ambiental (por exemplo, da alimentação). Já a cor dos olhos parece ser um caso de herança quantitativa com pelo menos quatro pares de alelos envolvidos, o que determinaria a existência de nove fenótipos distintos (tabela 5).

Tabela 5. Herança quantitativa da cor dos olhos na espécie humana

Alelos aditivos	Fenótipos
0	Azul-claro
1	Azul-médio
2	Azul-escuro
3	Azul-acinzentado (ou cinza)
4	Verde
5	Avelã (ou "mel")
6	Castanho-claro
7	Castanho-médio
8	Castanho-escuro



Figura 6. Por simplificação, consideram-se olhos escuros condicionados por alelo dominante e olhos claros, por alelo recessivo. Sabe-se, porém, que a cor dos olhos depende da atuação de diversos genes, não se tratando de um caso de mono-hibridismo.

Conforme o número de classes fenotípicas existentes em um caso de herança quantitativa, estima-se o **número de pares de alelos** envolvidos:

$$\text{Número de classes fenotípicas} = 2n + 1, \text{ em que } n \text{ é o número de pares de alelos.}$$

Analisando-se a massa de determinados frutos de uma espécie vegetal, por exemplo, encontram-se sete classes fenotípicas distintas. Então, $7 = 2n + 1$ e $n = 3$ pares. Concluímos que a massa dos frutos dessa espécie é determinada por três pares de alelos.

Considere, por hipótese, que os frutos mais pesados tenham 120 g, e os mais leves, 60 g.

$$\frac{\text{massa máxima} - \text{massa mínima}}{\text{número máximo de alelos aditivos}} =$$

$$= \frac{120 \text{ g} - 60 \text{ g}}{6} = + 10 \text{ g}$$

Na planta de frutos de massa mínima, não há alelo aditivo; na de frutos de massa máxima, há seis (pois são três pares de alelos). Portanto, cada alelo aditivo acrescenta 10 g ao fenótipo residual ou mínimo (que é 60 g).

Outra maneira de estimar o número de pares de alelos envolvidos em uma herança poligênica é fazê-lo com base na frequência de cada um dos fenótipos extremos (máximo e mínimo). Em um caso de herança poligênica condicionado por n pares de alelos, a frequência de aparecimento de cada um dos fenótipos extremos (f_e) na geração F_2 é dada por:

$$f_e = \frac{1}{4^n}$$

Em uma criação de porcos, por exemplo, o criador encontrou, entre animais de mesma idade e mesma dieta, massas variando entre 60 kg e 100 kg.

Quando machos de massa máxima eram cruzados com fêmeas de massa mínima, obtinha-se uma linhagem de massa intermediária (aproximadamente 80 kg, na mesma idade).

Ao cruzar machos e fêmeas dessa linhagem intermediária, o criador obteve uma geração F_2 com 1 024 animais, dos quais apenas um chegou a 100 kg. Quantos pares de alelos estão envolvidos na determinação da massa desses animais?

Se, em 1 024 animais, um tem 100 kg, a frequência desse fenótipo extremo é de 1 para 1 024. Assim:

$$\frac{1}{4^n} = \frac{1}{1024}$$

Ou seja, $4^n = 1024 = 4^5$; logo: $n = 5$ pares. Concluindo, a massa dessa linhagem de porcos é determinada por cinco pares de alelos, com a possibilidade de existirem dez alelos aditivos, que elevam a massa de 60 kg para 100 kg. Se dez alelos promovem acréscimo de 40 kg, então cada alelo acrescenta 4 kg ao fenótipo residual.

A notícia

Estudo identifica fatores genéticos que determinam a altura das pessoas

Análise de 250 mil pessoas levou à identificação de 700 variantes genéticas.

Compreensão da genética da altura pode ajudar a entender outras doenças.

Não é nenhum segredo que, se o pai e a mãe de uma pessoa são altos, ela provavelmente também vai ser alta. Mas a plena compreensão da genética que define a altura de uma pessoa tem sido um grande desafio para os cientistas. [...]

Estima-se que a genética corresponda por 80% da definição de se uma pessoa será alta ou baixa. Nutrição e outros fatores ambientais respondem pelos 20% restantes. O ser humano tem se tornado mais alto nas últimas gerações por causa de fatores externos como a melhoria da nutrição.

“Estudamos a altura por duas razões principais”, disse o Dr. Joel Hirschhorn [...]. “Há mais de 100 anos, ela tem sido um grande modelo para estudar a genética de doenças como obesidade, diabetes, asma, que também são causadas pela influência de vários genes que atuam juntos. Então, a compreensão de como a genética da altura funciona pode ajudar a entender como a genética de doenças humanas funciona”, disse ele.

Além disso, a baixa estatura na infância é um grande problema clínico para

endocrinologistas pediátricos. Conhecer os genes relacionados à altura e as suas variantes pode ajudar os médicos a diagnosticar as crianças que têm uma única causa subjacente principal para a estatura baixa. [...]

Muitos genes salientados no estudo, publicado na revista **Nature Genetics**, são, provavelmente, importantes reguladores de crescimento do esqueleto, mas não eram conhecidos anteriormente para serem envolvidos, disseram os pesquisadores. [...]

Estudo identifica fatores genéticos que determinam a altura das pessoas. **Portal G1/Da Reuters**, 06 out. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2014/10/estudo-identifica-fatores-geneticos-que-determinam-altura-das-pessoas.html>>.

Acesso em: mar. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia, responda:

1. De acordo com o texto, a determinação da altura de uma pessoa sofre predominantemente a influência de fatores hereditários ou ambientais? Em que proporção?
2. Em poucas palavras, por que os estudos sobre a hereditariedade da estatura humana podem contribuir para compreender a obesidade, o diabetes e a asma?

► A cor da pele humana

Partindo da África há centenas de milhares de anos, ancestrais dos seres humanos atuais espalharam-se por uma grande variedade de habitats, expostos às mais diversas condições ambientais e assumindo numerosos modos de vida. Em razão dessa migração, os diferentes grupos estiveram submetidos a condições distintas de temperatura, altitude e exposição ao sol, exercitando múltiplas estratégias de coleta e caça, construção de abrigos e fuga de predadores. Muito tempo depois da grande migração, populações humanas já ocupavam florestas tropicais, regiões frias do norte da Europa, desertos do Oriente Médio, altiplanos das encostas do Himalaia, manguezais do Sudeste Asiático e outras regiões do planeta.

A ocupação de múltiplos habitats submeteu os diversos povos a diferentes pressões da **seleção natural**, determinando a notável **diversidade** observada hoje. Nos grupos que permaneceram em regiões tropicais, expostos à perigosa e intensa radiação ultravioleta, deve ter sido selecionada a presença, na pele, de maior quantidade de **melanina**, pigmento escuro que protege as células (particularmente o núcleo celular). Nas latitudes elevadas (mais próximo aos polos), com a escassez de radiação solar, a pressão seletiva para a cor da pele deve ter sido oposta: a ativação da vitamina D a partir de precursores inativos requer radiação ultravioleta, cuja penetração é favorecida na pele clara. Na ausência da radiação solar ou dos precursores da vitamina D surge o raquitismo.

Ao analisarmos a cor da pele humana, que reflete a quantidade de melanina, não se observam categorias fenotípicas distintas. O que existe é uma ampla **variação gradativa** de pessoas com pele muito clara até pessoas com pele bastante escura.

O geneticista Charles Davenport (1866-1944) sugeriu que a cor da pele humana seria condicionada por dois pares de alelos (SS' e PP'). Os alelos aditivos (S' e P') contribuiriam cumulativamente para tornar a pele mais escura.

Segundo Davenport, a cor da pele varia de acordo com a quantidade de alelos aditivos (**tabela 6**).

Alelos aditivos	Fenótipos
4	Preto
3	Escuro
2	Médio
1	Claro
0	Branco

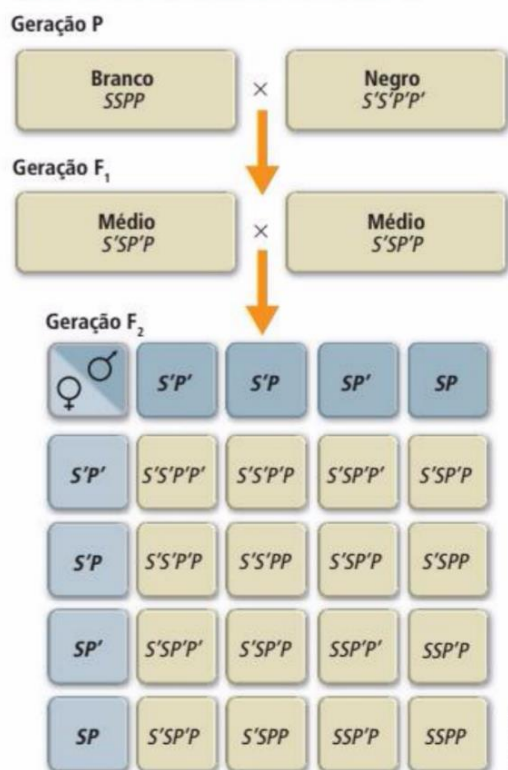
Fonte: DAVENPORT, C. B. *Heredity of skin color in negro-white crosses*. Washington: Carnegie Institution, 1913.

Atualmente, o modelo de Davenport é aceito apenas como uma simplificação. De acordo com a hipótese mais aceita hoje, há quatro pares de alelos envolvidos na herança da cor da pele humana, sendo que os alelos aditivos não têm efeitos idênticos, cada um deles contribuindo diferentemente com a quantidade de melanina. Deve-se destacar, também, a importante influência ambiental (principalmente a exposição ao sol) na expressão desse fenótipo.

A cor da pele não se associa a nenhuma outra característica que implique potencialidade, capacidade intelectual etc. Não passa de racismo mal disfarçado toda ideia ou opinião que procura associar cor da pele à suposta inferioridade de grupos ou pessoas, ou que sustenta qualquer tipo de discriminação. Nenhuma forma de racismo tem base legal, moral, ética ou biológica, e todas devem ser igualmente, e vigorosamente, combatidas.

O Ministério da Saúde oferece a excelente revisão: **Manual de doenças mais importantes, por razões étnicas, na população brasileira afrodescendente** (disponível em: <<http://tub.im/vzye5i>>; acesso em: maio 2016).

Considerando-se os fenótipos extremos (pele preta e pele branca), a diferença genética é de 8 alelos aditivos ($C^1 C^1 D^1 D^1 E^1 E^1 F^1 F^1$ e $C^2 C^2 D^2 D^2 E^2 E^2 F^2 F^2$) em um total de 50 mil alelos. Em outras palavras, a herança genética da cor da pele representa, no máximo, apenas 0,016% do genoma. Com esses dados, é possível retomar a discussão do texto de abertura.



Atividade prática

Como eu me reconheço? Como eu reconheço os outros? Como os outros me reconhecem?

Ninguém nasce odiando outra pessoa pela cor de sua pele, por sua origem ou ainda por sua religião. Para odiar, as pessoas precisam aprender, e se podem aprender a odiar, podem ser ensinadas a amar.

Nelson Mandela
MANDELA, N. *Longa caminhada até a liberdade*.
Curitiba: Nossa Cultura, 2012.

Embora na espécie humana não existam raças, existe racismo, preconceito, discriminação e exclusão. Como não há critérios que poderiam ser considerados científicos, biológicos ou universalmente aceitos na definição das raças humanas, as **ações afirmativas** (como as cotas em universidades) baseiam-se, em geral, na **autodeclaração**, ou seja, no reconhecimento que cada um de nós faz do próprio pertencimento a um grupo populacional (seja ele designado por raça, etnia, grupo étnico ou qualquer outra expressão). As categorias habitualmente usadas, inclusive pelo IBGE, são **branco**, **negro** (preto e pardo), **amarelo** e **indígena**.

Objetivo

- Demonstrar que qualquer critério de categorização é arbitrário, sujeito a interferências de diversas naturezas.

Procedimentos

Em uma folha de caderno ou outro papel que possa ser destacado, escreva como você se reconhece (amarelo, branco, indígena ou negro) nesta classificação. Dobre o papel, sem

identificação pessoal, e coloque em uma urna ou caixa fechada fornecida pelo seu professor.

A seguir, em outro pedaço de papel destacado, monte uma tabela com 2 linhas e 4 colunas, encabeçadas pelas identificações: amarelo, branco, indígena e negro. Em cada coluna (na 2ª linha), coloque o número de colegas que você reconhece como pertencentes a cada uma das 4 identificações. Dobre o papel, sem identificação pessoal, e coloque em uma urna ou caixa fechada fornecida pelo seu professor. Em uma folha de caderno ou outro papel que possa ser destacado, responda:

- a) Como você se vê nesta classificação?
- b) Na classe, quantos colegas você classifica em cada uma dessas quatro categorias?

Observação: Não compartilhe as respostas com seus colegas, até que sejam solicitadas pelo(a) professor(a). Observe a leitura e a tabulação dos resultados. Copie-os em seu caderno.

Sugerimos que prepare com cuidado a execução desta atividade. Leia as instruções nas **Orientações para o professor**.

Resultados e discussão

Escreva
no caderno

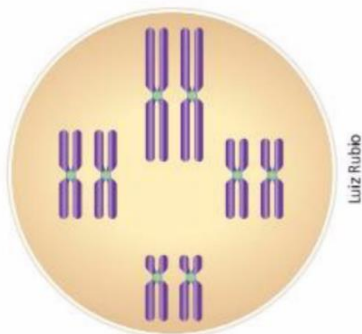
- a) De acordo com os dados obtidos, existe concordância ou discrepância na categorização individual e na categorização construída coletivamente, pela classe?
- b) Discuta com seus colegas os resultados observados, levando em consideração a importância da categorização individual como critério para inclusão em programas de cotas.

Se possível, assista com os alunos ao documentário brasileiro **Alguém falou em racismo?**, de 2002, que mistura ficção e trechos de entrevistas reais para discutir a discriminação. Outra excelente opção é o documentário **Olhos azuis**, de 1996, elaborado pela professora e socióloga norte-americana Jane Elliott. O filme mostra uma das desconcertantes oficinas sobre racismo realizadas por Elliott.

Atividades

Escreva
no caderno

1. Estudando o núcleo metafásico da célula diploide de uma espécie de mosca, um pesquisador observou o seguinte cariótipo:



Um geneticista, trabalhando com exemplares dessa mesma espécie, analisou quatro pares de alelos (*Aa*, *Bb*, *Cc* e *Dd*), verificando que todos se segregavam independentemente. Sobre essa espécie, faça o que se pede:

- a) Copie o cariótipo no caderno e indique, nos cromossomos, a posição ocupada por esses quatro pares de alelos.
- b) Se o geneticista analisar mais um par de alelos (por exemplo, o par *Ee*), a qual conclusão ele certamente chegará? Justifique sua resposta, localizando este quinto par de alelos na figura que você desenhou.

2. Nas cobaias, a cor e o comprimento dos pelos são determinados, respectivamente, pelos seguintes pares de alelos:

C — pelos pretos *L* — pelos curtos

c — pelos creme *l* — pelos longos

Um macho duplo-heterozigoto foi cruzado com uma fêmea duplo-recessiva.

- a) Qual é a probabilidade de surgimento de filhotes com genótipo *Cc ll*?
- b) Qual é a probabilidade de aparecimento de um filhote de pelos creme e curtos?

3. Um macho de genótipo $AaBbCcddEE$ é cruzado com uma fêmea de genótipo $AABbCcDdEe$.
- Quanto tipos de gameta cada um desses indivíduos pode gerar?
 - Descubra quantos genótipos diferentes podem surgir na descendência.
 - Qual é a probabilidade de aparecer na descendência um indivíduo de genótipo $AabbCcddEe$?
4. O formato dos frutos das abóboras pode ser esférico, discoide ou alongado. O cruzamento de uma planta com frutos discoides com uma planta com frutos alongados (geração parental) origina 100% de descendentes com frutos discoides. Se as plantas da geração F_1 foram autofecundadas, a geração F_2 terá descendentes nas seguintes proporções fenotípicas: 9 plantas com frutos discoides, 6 plantas com frutos esféricos, 1 planta com frutos alongados.
- Elabore uma hipótese válida que explique a transmissão genética dessa característica.
 - Determine os genótipos das plantas das gerações P e F_1 .
5. Em uma espécie animal, a cor dos pelos é determinada por um par de alelos em que o alelo dominante M determina pelo cinza e o recessivo m , pelo marrom. Em outro par, há um alelo C que impede a produção de pigmentos, e expressa-se na forma de um animal albino. Um macho marrom é cruzado com uma fêmea albina cujo pai é marrom e, desse cruzamento, alguns filhotes são cinza.
- Determine os genótipos do macho, da fêmea, de seu pai e dos filhotes cinza.
 - Determine a possível descendência desse cruzamento.
6. A pelagem de cães da raça labrador é condicionada por 2 pares de alelos (Bb e Ee). O alelo B (pelo preto) é dominante sobre o alelo b (pelo chocolate). O alelo dominante E determina a deposição de pigmentos nos pelos, enquanto o recessivo e condiciona a não deposição de pigmentos nos pelos, que se tornam amarelos.



Cães da raça labrador.

Genótipo $B_E_$ — pelagem preta
 Genótipo $bbE_$ — pelagem chocolate
 Genótipo B_ee — pelagem amarela
 Genótipo $bbee$ — pelagem amarela

Em uma geração parental, um macho de genótipo $BBEE$ é cruzado com uma fêmea de genótipo $bbee$.

- Quais são os fenótipos do macho, da fêmea e de todos os possíveis descendentes da geração F_1 ?

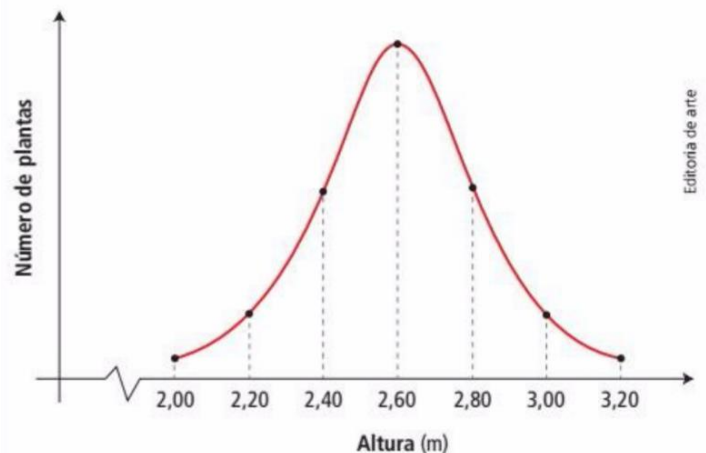
- Se machos e fêmeas da geração F_1 forem cruzados entre si, quais serão as proporções genotípicas e fenotípicas encontradas na geração F_2 ?
- Não se conhecendo os genótipos de machos e fêmeas dos cruzamentos citados a seguir, qual é o único cuja proporção de fenótipos na descendência pode ser prevista com certeza, quanto à cor dos pelos? Por quê?

I. Preto $\times$ Chocolate

II. Chocolate $\times$ Amarelo

III. Amarelo $\times$ Amarelo

7. Cultivando uma espécie vegetal, um agricultor encontrou variedades cujas plantas alcançavam altura de 2,00 m, enquanto outras chegavam a até 3,20 m. Cruzando essas duas variedades, ele obtinha apenas plantas com altura de 2,60 m. Quando essas plantas de altura intermediária eram autofecundadas, a geração descendente apresentava plantas que podiam ser agrupadas em sete classes fenotípicas distintas quanto à altura, as menores com 2,00 m e as maiores com 3,20 m. A distribuição fenotípica da segunda geração filial foi a seguinte:



Com base nessas informações, responda:

- Concluiu-se que se trata de um caso de herança poligênica ou de herança quantitativa. Que argumentos você poderia usar para justificar essa opinião?
 - Quanto pares de alelos controlam essa característica?
 - Qual é o fenótipo residual e qual é a contribuição de cada alelo aditivo?
8. Em árvores de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), a altura do caule aos seis anos varia de 16 m a 24 m. Procurou-se determinar o mecanismo de herança dessa característica por meio do cruzamento de plantas com 16 m e plantas com 24 m, ambas puras, e obtiveram-se as gerações F_1 e F_2 . A altura média dos caules da geração F_1 foi de 20 m. Na geração F_2 , observou-se 0,4% das plantas com altura de 16 m e 0,4% com 24 m, sendo que as demais plantas apresentavam altura entre os dois extremos. Desconsiderando-se os efeitos ambientais, pergunta-se:
- Qual é o número de pares de alelos que controla a altura do caule do eucalipto?
 - Qual é a contribuição de cada alelo aditivo para a altura do caule?



Konstantin Chagin/Shutterstock.com

A cor da pele humana – historicamente, o substrato biológico que sustentou diversas formas de segregação, preconceito, discriminação e racismo – apresenta grande variedade de tonalidades intermediárias entre as manifestações extremas.

Biologia e racismo: uma relação delicada

O suíço Louis Agassiz (1807-1873), um dos mais eminentes naturalistas do século XIX, ainda é reconhecido pelos trabalhos em Zoologia e em Biogeografia. Criacionista, Agassiz defendia que espécies e raças existiriam imutáveis desde a criação. Também foi adepto do poligenismo, corrente de pensamento segundo a qual as várias espécies e raças resultariam de linhagens de diferentes origens.

Assim como os demais poligenistas, Agassiz defendia que cada “raça humana” teria sido criada como uma espécie autônoma e distinta, posição que o converteu em um dos mais destacados defensores do racismo nos meios científicos. Agassiz jamais aceitou, por exemplo, que brancos e negros tivessem ancestralidade comum. É dele a assertiva:

Há sobre a Terra diferentes raças de homens, habitando diferentes áreas [...] e esse ato nos obriga a estabelecer posição relativa entre essas raças. [...] O indomável, corajoso, orgulhoso índio, em que plano tão diferente ele se encontra em relação ao submisso, obsequioso e imitativo negro ou ao manhoso, astuto e covarde mongol? Não constituem esses fatos indícios de que as diferentes raças não se alinham em um nível único na natureza?¹

Resta claro que o naturalista suíço admitia não apenas a nítida separação entre as “raças” humanas, mas também uma evidente “hierarquia” entre elas. A ciência, o racismo e a defesa da escravidão andavam lado a lado!

Hipóteses atualmente aceitas sugerem que a espécie humana (*Homo sapiens*), com mais de 150 mil anos, tenha se originado na África (possivelmente na região do vale da Grande Fenda, situado na África Central) e, há 100 mil anos, tenha começado sua migração para a Ásia e a Europa. Durante esse longo intervalo de tempo, ocorreram várias ondas migratórias, bem como movimentos de retorno à África. Consequentemente, entre as diversas populações humanas — cujas diferenças refletem a adaptação a diferentes condições ambientais — nunca chegou a se consolidar um completo isolamento geográfico.

O acúmulo de características divergentes é o resultado da seleção natural, atuando nos diversos ambientes ocupados. Na África, por exemplo, a cor escura da pele representou uma fundamental proteção contra a exposição excessiva das células à radiação solar ultravioleta (UV), que atinge abundantemente aquela região da Terra e pode causar câncer. Já a pele clara, selecionada nas populações que ocuparam o norte da Europa, permite a síntese adequada de vitamina D, cuja conversão para a forma ativa a partir de precursores inativos depende da radiação ultravioleta. Sem isso, o raquitismo, resultante da carência de vitamina D, impediria a sobrevivência humana em áreas afastadas da linha do equador, com menor insolação.

Segundo o paleontólogo norte-americano Stephen Jay Gould (1941-2002), essas constatações fazem-nos perceber que os seres humanos, apesar de suas aparentes diferenças externas, são todos membros de uma única entidade biológica de origem comum e relativamente recente. Existe uma irmandade biológica que nos une.

Hoje, as diferenças entre os grupos populacionais humanos tendem a se atenuar, em virtude da constante e intensa movimentação de pessoas. Se o intercâmbio genético em *Homo sapiens* não é tão mais amplo quanto poderia ser, isso se deve a fatores culturais e sociais.

Cabe lembrar que os critérios taxonômicos que justificam a subdivisão de uma espécie em subespécies ou raças são arbitrários. Alguns dos mais utilizados são a persistência de isolamento geográfico e a possibilidade de que indivíduos de diferentes populações sejam identificados pela análise de características fenotípicas com variação descontínua.

A cor da pele humana, substrato maior do racismo, apresenta variação contínua. Adicionalmente, na nossa espécie o isolamento geográfico não bloqueia o livre fluxo gênico, permitindo que toda a humanidade compartilhe um patrimônio genético comum.

O pesquisador brasileiro Sérgio Danilo Pena (1947-), que participou do Projeto Genoma Humano, diz:

Eu, que sou branco, sou geneticamente tão diferente de outra pessoa branca quanto de um negro africano. Se eu tiver acesso às “impressões digitais” do DNA de dez europeus, dez africanos, dez ameríndios e dez chineses, não vou saber quem é de qual grupo. Todo mundo é diferente!²

Pelos critérios usuais, portanto, não existem raças humanas.

Mas é por isso que o racismo é intolerável? Seria só por isso? Se, por uma hipótese absurda, os taxonomistas reavaliassem seus critérios e passassem a dividir a espécie humana em “raças”, então o racismo, o preconceito e a discriminação encontrariam fundamentação mais sólida e seriam justificáveis?

¹ Apud GOULD, S. J. *O polegar do panda*. São Paulo: Martins Fontes, 1980.

² Apud MAGNOLI, D. Desigualdade perante a lei. *Época*, 10 mar. 2003.

O racismo é inaceitável sob o enfoque da ética, da moral e da lei. Inadmissível em todas as manifestações, deve ser duramente combatido, inclusive – mas não somente – à luz dos conhecimentos da Biologia.

Concluimos com o artigo 1º da Declaração das Nações Unidas sobre a eliminação e todas as formas de discriminação racial, aprovada em 20 de novembro de 1963:

Escreva
no caderno

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

1. (UEPA) Sou Giulia, cor de pele branca, como alguns diriam, mas sou BRASILEIRA, até o último fio de cabelo, porque sou descendente de portugueses, holandeses, negros africanos, índios, uma mistura linda, e por este e muitos motivos sempre paro para pensar e analiso até onde posso ir com preconceitos das pessoas e coisas. Muitos dizem que a vida nos faz duros e seletistas, mas falemos francamente, você deixaria de gostar de uma pessoa boníssima, porque a cor de pele dela é diferente da sua? Não falo aqui apenas do racismo que impele entre brancos e negros, mas todo e qualquer preconceito. Sejam sensatos, por favor, vamos enxergar o mundo com olhos menos doentes! Façamos deste mundo e principalmente do nosso Brasil um país menos preconceituoso, lembrando que esta reunião de raças, é que por sinal, faz este país um lugar lindo de se viver.

Fonte: adaptado de <<http://byline.wordpress.com/2007/03/21/preconceito-voce-vc/>>. Acesso em: 26 set. 2007.

O texto faz referência:

- I. à herança do tipo quantitativa uma vez que, nestes casos, o cruzamento entre dois híbridos resulta em ampla e gradativa variação de fenótipos.
- II. a um tipo de herança cuja expressão fenotípica depende da quantidade de genes dominantes ou recessivos.
- III. à herança influenciada pelo sexo, uma vez que os genes que determinam o fenótipo expressam-se melhor em pessoas do sexo masculino, determinando uma pele mais escura.

De acordo com as afirmativas acima, a alternativa correta é:

- a) II e III
- b) I e II
- c) III
- d) II
- e) I

2. Leia o texto a seguir:

[...] afirmar-se que negros são minoria é uma tolice. Os negros sofreram sim, ao longo da história do país, enormes preconceitos graças à cultura escravocrata que perdurou em séculos passados, com o país dominado desde sua colonização por oligarquias de descendência europeia. A Lei Áurea desinstitucionalizou a posse de escravos como ferramentas de trabalho por decreto, lançando-os à escravidão da miséria e exclusão social. Lançando-os à sarjeta como cães de rua. Ou seja, continuaram escravos, cuja descendência, numa vida miserável sem políticas sociais adequadas, produziu o que vemos hoje: a maioria dos

A discriminação entre seres humanos em razão da raça, cor ou origem étnica é uma ofensa à dignidade humana, e será condenado como uma negação dos princípios da Carta das Nações Unidas, como uma violação dos direitos humanos e liberdades fundamentais proclamadas na Declaração Universal dos Direitos Humanos, como um obstáculo às relações amigáveis e pacíficas entre as nações e como um fato capaz de perturbar a paz e a segurança entre os povos.³

moradores das favelas, bem como os presidiários que lotam as pocilgas brasileiras chamadas de cárceres é também composta por não brancos.

Quando uso o termo “não branco”, quero dizer que é impossível dividir nosso povo em raças. Quem é branco e quem é negro afinal? Uma conclusão que podemos tirar do magnífico trabalho do falecido Darcy Ribeiro em *O Povo Brasileiro* é que na verdade não temos *pedigree*. Somos uma nação de vira-latas. Sou eu quem diz isso, não o Darcy. Isso mesmo. Não temos raça definida. Branco a meu ver é o sujeito de pele extremamente clara, olhos claros e cabelos louros, padrão nórdico. Negro é aquele de pele extremamente escura, cabelos encarapinhados e dentes alvíssimos, padrão africano. Esses cidadãos, sim, podem afirmar-se em uma determinada raça. Mas nós, a maioria do povão, somos todos vira-latas. [...]

SALGUES, M. *Racismo Institucionalizado*. Disponível em: <www.duplipensar.net/materias/2004-04-racismo.html>. Acesso em: mar. 2016.

- a) No contexto explicitado pelo texto, como se justifica o uso da afirmativa “nós, a maioria do povão, somos todos vira-latas”?
- b) Sabendo-se da inexistência de raças na espécie humana e que a cor da pele humana é condicionada por alguns pares de alelos com efeito aditivo (herança quantitativa ou poligênica), o que são os grupos aos quais o autor confere a possibilidade de definirem-se como “raças”?

3. (Unicamp-SP)

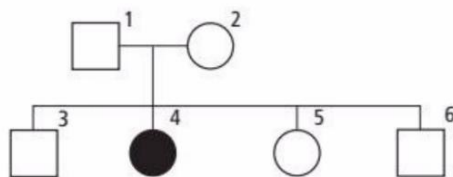
No século XIX, surgiu um novo modo de explicar as diferenças entre os povos: o racismo. No entanto, os argumentos raciais encontravam muitas dificuldades: se os arianos originaram tanto os povos da Índia quanto os da Europa, o que poderia justificar o domínio dos ingleses sobre a Índia, ou a sua superioridade em relação aos indianos? A única resposta possível parecia ser a miscigenação. Em algum momento de sua história, os arianos da Índia teriam se enfraquecido ao se misturarem às raças aborígenes consideradas inferiores. Mas ninguém podia explicar realmente por que essa ideia não foi aplicada nos dois sentidos, ou seja, por que os arianos da Índia não aperfeiçoaram aquelas raças em vez de se enfraquecerem.

Adaptado de PAGDEN, A. *Povos e Impérios*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2002. p. 188-194.

Segundo o texto, quais as incoerências presentes no pensamento racista do século XIX?

³ Departamento de Direito Internacional – Organização dos Estados Americanos, Washington, D.C. Disponível em: <www.oas.org/dil/port/afrodescendentes_instrumentos_internacionais.htm>. Acesso em: mar. 2016.

1. (FGV-SP) A genealogia refere-se a uma característica condicionada por um alelo autossômico:



- Trata-se de um alelo dominante ou recessivo? Justifique.
- Qual é a probabilidade de o indivíduo 5 ser homozigoto recessivo?
- Qual é a probabilidade de o indivíduo 6 ser homozigoto dominante?

2. As plantações de linho costumam ser atacadas por dois tipos de ferrugem. Algumas plantas demonstram resistência à variedade 1 do microrganismo; outras, à variedade 2; há ainda as que são resistentes a ambas. Cruzamentos entre plantas que resistem à variedade 1 com as que são resistentes a 2 produzem plantas que suportam esses dois tipos de ferrugem. Um agricultor, interessado em livrar sua plantação da ferrugem, passou a cultivar apenas mudas resultantes de autofecundação da variedade resistente às variedades 1 e 2. Trata-se de uma boa decisão? Justifique e indique qual seria a melhor maneira de evitar a ferrugem.

3. (Unicamp-SP) Gatos Manx são heterozigotos para uma mutação que resulta na ausência de cauda (ou cauda muito curta), presença de pernas traseiras grandes e um andar diferente dos outros. O cruzamento de dois gatos Manx produziu dois gatinhos Manx para cada gatinho normal de cauda longa (2 : 1), em vez de três para um (3 : 1), como seria esperado pela genética mendeliana.

- Qual a explicação para esse resultado?
- Dê os genótipos dos parentais e dos descendentes. (Utilize as letras *B* e *b* para as suas respostas.)

4. Na primula (*Primula sinensis*), a flor tem normalmente uma mancha amarela na base da pétala. Originou-se uma mutação recessiva que determina mancha amarela muito grande (primula rainha). Mais tarde ocorreu outra mutação do mesmo gene, dessa vez dominante em relação ao tipo normal, condicionando uma mancha branca (primula alexandra). Os três alelos resultantes — *A* (alexandra), *aⁿ* (normal) e *a* (rainha) — formam uma série de alelos múltiplos.

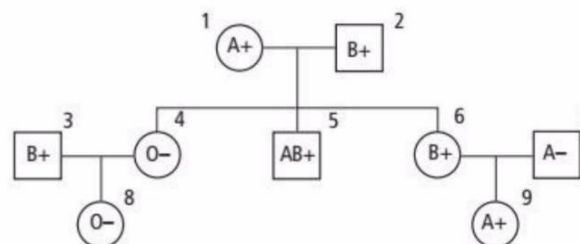
- Quais os possíveis genótipos, respectivamente, dos tipos alexandra, normal e rainha?
- Quais fenótipos podem surgir da autofecundação de plantas do tipo alexandra?

5. (Unicamp-SP) No início do século XX, o austríaco Karl Landsteiner, misturando o sangue de indivíduos diferentes, verificou que apenas algumas combinações eram compatíveis. Descobriu, assim, a existência do chamado sistema ABO em humanos. No quadro a seguir são mostrados os genótipos possíveis e os aglutinogênios correspondentes a cada tipo sanguíneo.

Tipo sanguíneo	Genótipo	Aglutinogênio
A	$I^A I^A$ ou $I^A i$	A
B	$I^B I^B$ ou $I^B i$	B
AB	$I^A I^B$	A e B
O	ii	Nenhum

- Que tipo ou tipos sanguíneos poderiam ser utilizados em transfusão de sangue para indivíduos de sangue tipo A? Justifique.
- Uma mulher com tipo sanguíneo A, casada com um homem com tipo sanguíneo B, tem um filho considerado doador de sangue universal. Qual a probabilidade de esse casal ter um(a) filho(a) com tipo sanguíneo AB? Justifique sua resposta.

6. No heredograma a seguir estão indicados os fenótipos dos grupos sanguíneos ABO e Rh.



- Quais indivíduos são, com certeza, heterozigotos concomitantemente para os sistemas ABO e Rh?
- Considerando-se que nenhuma dessas pessoas já tenha recebido transfusão de sangue, qual dos casais assinalados pode, em uma eventual próxima gestação, ter criança que desenvolva eritroblastose fetal?

7. (Ufop-MG)

Um avião da companhia Air France que havia decolado na noite do domingo, 30 de maio de 2009, do Rio em direção a Paris, desapareceu com 228 pessoas a bordo — 216 passageiros e 12 tripulantes. Segundo boletim mais recente, divulgado pela secretaria, foram identificados 43 dos 50 corpos, entre brasileiros e estrangeiros. A pedido dos familiares, as identidades das vítimas foram mantidas em sigilo. Peritos do IML e representantes da Secretaria de Defesa Social de Pernambuco informaram que a identificação dos corpos restantes será feita a partir de exames de DNA.

(Texto adaptado de matérias do jornal *Folha de S.Paulo*, de 01/06 e 10/06/2009.)

Com base no texto, responda às questões propostas.

- Por que é possível a identificação de corpos utilizando-se a molécula de DNA?
 - Seria necessário incluir amostras de parentes das vítimas (pai, mãe, irmãos) durante as análises para a identificação dos corpos? Por quê?
8. A cobra-do-milharal (*Pantherophis guttatus*) é uma serpente não peçonhenta comum no sudeste dos Estados Unidos. Por ser pouco agressiva e não exigir muitos cuidados,

com frequência é “adotada” como animal de estimação. Em indivíduos dessa espécie, observam-se quatro padrões cromáticos, determinados geneticamente. Em um loco, o alelo dominante B condiciona a produção de pigmento preto, e o recessivo b condiciona a ausência desse pigmento. Em outro loco, que segrega independentemente, o alelo dominante O condiciona a presença de um pigmento castanho-alaranjado, enquanto o recessivo o condiciona a ausência desse pigmento. Portanto, (a) genótipo $B_O_$ condiciona manchas castanho-alaranjadas com bordas pretas; (b) genótipo B_oo condiciona manchas pretas; (c) genótipo $bbO_$ condiciona manchas castanho-alaranjadas, sem borda, e (d) o genótipo $bbOO$ condiciona o fenótipo albino.

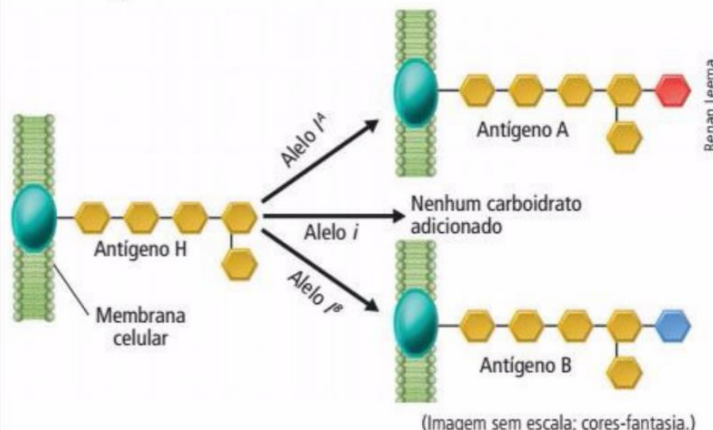
Fotografias: Eric Isselee/Shutterstock.com



Padrões cromáticos da cobra-do-milharal (*Pantherophis guttatus*, 1,40 m de comprimento).

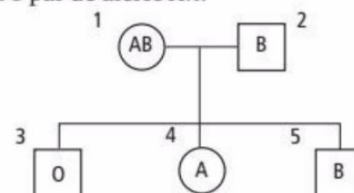
- a) Qual é o padrão cromático de uma serpente com genótipo $BbOo$? E de outra, com genótipo $bbOO$?
- b) Serpentes com genótipo $BBOO$ podem ter descendentes albinos? Justifique.
9. (UECE) Sabe-se que em porquinhos-da-índia o padrão “pelos lisos” domina sobre o padrão “pelos arrepiados”, enquanto a cor negra domina sobre a cor branca, estando os genes determinantes destas características situados em pares de cromossomos homólogos diferentes. Cruzando-se porquinhos com padrão liso e de coloração negra, ambos heterozigotos para os dois loci, pode-se afirmar, corretamente, que a razão fenotípica de porquinhos arrepiados e brancos é de:
- a) 9 : 16
- b) 3 : 8
- c) 1 : 16
- d) 3 : 16
10. Na espécie humana, a produção dos antígenos do sistema ABO (antígenos A e B) ocorre pela incorporação de diferentes monossacarídeos a um oligossacarídeo encontrado na superfície dos glóbulos vermelhos (chamado antígeno H).

Os alelos I^A e I^B determinam, respectivamente, a produção dos antígenos A e B, enquanto o alelo i determina a ausência desses antígenos, ou seja, a manutenção apenas do antígeno H.

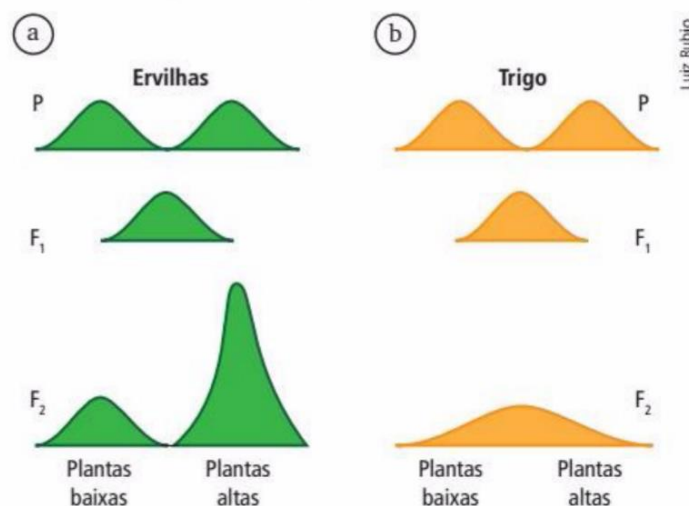


Um outro gene possui um alelo H , que condiciona a produção do antígeno H, enquanto o alelo h determina a ausência desse antígeno. Indivíduos com genótipo hh não sintetizam o antígeno H e, portanto, não têm os antígenos A e B nos glóbulos vermelhos, independentemente do genótipo para o sistema ABO.

- a) Identifique esse padrão de herança.
- b) Procure determinar os genótipos das pessoas representadas no heredograma abaixo, tanto para o sistema ABO como para o par de alelos Hh .



11. As duas curvas a seguir mostram as distribuições fenotípicas nas gerações P , F_1 e F_2 , referentes a duas características: em (a), a altura das plantas de ervilha-de-cheiro; em (b), a altura das plantas de trigo.



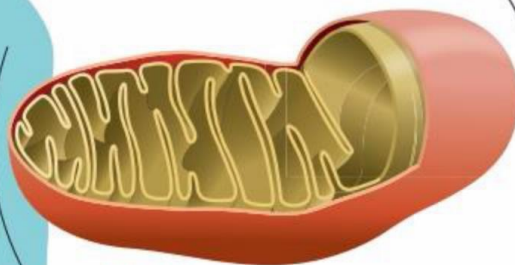
A partir da análise dos gráficos, quais devem ser os padrões de herança em (a) e em (b), respectivamente? Justifique.

1. Doenças mitocondriais afetam de 10 a 15 pessoas em cada 100 mil e podem comprometer sistema nervoso, músculos e órgãos dos sentidos (geralmente a visão). São transmitidas por herança materna, ou seja, mulheres afetadas transmitem as doenças para todos os descendentes, que serão afetados, independentemente do sexo.

Desenvolveu-se uma técnica de terapia gênica para esses distúrbios; leia a seguir.

TERAPIAS GÊNICAS QUE EVITAM DOENÇAS TRANSMITIDAS DE MÃE PARA FILHO

Mais de 300 doenças genéticas podem ser transmitidas de mãe para filho devido à presença de genes mutantes no DNA mitocondrial. Pesquisadores da Universidade de Saúde e Ciência do Oregon desenvolveram um tipo de terapia gênica capaz de evitar essas doenças.



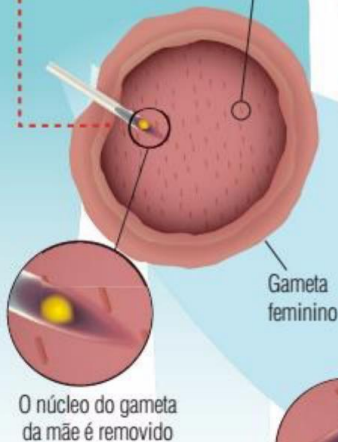
A mitocôndria

A mitocôndria é a "central energética" da célula, suprindo-a com a energia necessária ao metabolismo. O gameta feminino contém milhares de mitocôndrias, cada uma com seu próprio DNA. Se o DNA mitocondrial possuir uma alteração, pode acarretar doenças transmitidas da mãe para seus filhos.

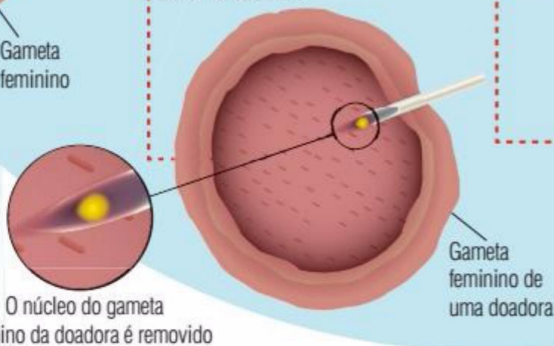


dp elas

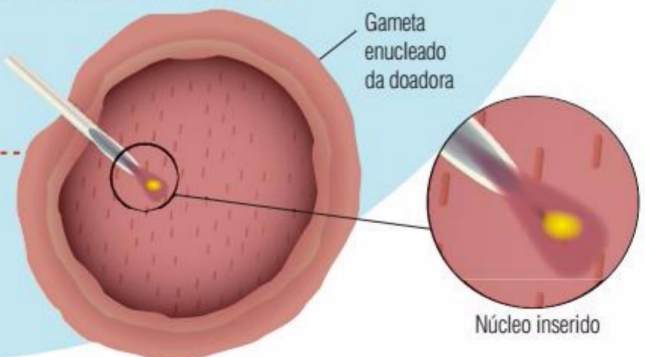
- 1 Remoção do núcleo do gameta feminino, onde está cerca de 99% do DNA da célula.



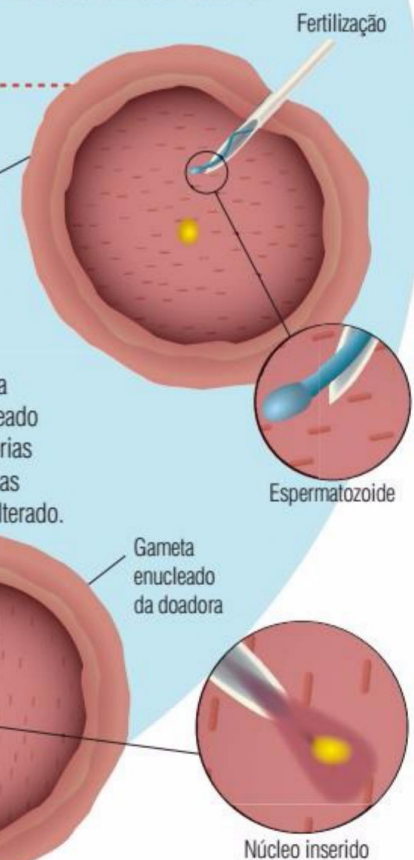
- 2 Remoção do núcleo do gameta feminino de uma doadora.



- 3 O núcleo removido do gameta da mãe é inserido no gameta enucleado da doadora. Assim, as mitocôndrias normais da doadora substituem as mitocôndrias contendo o DNA alterado.



- 4 Um espermatozoide fertiliza o gameta feminino. O zigoto resultante é, então, reimplantado na mãe, permitindo o desenvolvimento de um bebê saudável.



(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Fonte: Oregon Health & Science University (OHSU).

Por que o procedimento descrito evita a transmissão de uma doença mitocondrial?

2. Leia a tirinha e faça o que se pede.



- A situação criada só causou o efeito desejado pelo artista porque os personagens devem pertencer a qual tipo de gêmeos?
- Explique o sentido de humor da tirinha e justifique a fala do garçom, no último quadro.

3. As técnicas de fertilização assistida trazem situações cuja interpretação na esfera jurídica pode não ser simples. Leia as duas notícias seguintes para responder às questões propostas. Considere que, em cada fertilização, foi usado sêmen de apenas um doador, diferente em cada um dos casos.

Texto 1

Quando conheci a Thaís, já falei que sempre quis ser mãe. Depois de três anos juntas, disse: 'é hora'. Estava com 36 anos, meu relógio biológico estava correndo", diz a pediatra Luciana [...]. A musicista Thaís [...] conta que respeitou essa vontade da parceira de ter um filho geneticamente dela. [...]

"No começo, a maior preocupação era dizer para o médico que eu queria ter um filho para ser criado e registrado por duas mães. Mas não imaginava que seria difícil conseguir óvulos meus. Só quando comecei o tratamento descobri que meus ovários não estavam produzindo quase nada", lembra Luciana.

A pediatra passou por oito estimulações ovarianas. Na sétima, conseguiu um embrião, mas o médico sugeriu congelar e tentar mais um mês para ver se ela conseguia pelo menos mais um para aumentar a chance. "Fiz a oitava vez e nada de óvulos".

Thaís resolveu, então, participar e usar seus óvulos para implantar em Luciana. "Na primeira tentativa conseguimos um embrião", conta. Foi implantado no útero de Luciana um embrião de cada uma. "O médico consultou o Conselho para saber se poderia ser assim e tudo bem. Não esperava engravidar dos dois. Não poderia ter sido mais perfeito: um de cada, um casal [Laura e Lucca].

Só falta a decisão judicial para registrar a dupla maternidade. **Folha de S.Paulo**, 8 maio 2012. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/equlibrio/41479-so-falta-a-decisao-judicial-para-registrar-a-dupla-maternidade.shtml>>. Acesso em: abr. 2016.

Texto 2

Um casal de lésbicas de SP ganhou na Justiça o direito à dupla maternidade na certidão de nascimento dos gêmeos Arthur e Beatriz, de três meses. A novidade, em relação à maioria de outros casos, é que os bebês são filhos biológicos das duas mães — em geral, ou as crianças são adotadas ou filhas biológicas de apenas uma das mulheres. É também a primeira decisão registrada na cidade.

[...] Os bebês foram gerados por Waldirene [...] com óvulos inseminados de Fernanda [...]. A sentença declara que as duas

são igualmente mães. Em outras ocasiões, a Justiça reconheceu ou a mãe que gestou ou a que doou o óvulo. [...]

BERGAMO, M. Casal de lésbicas ganha direito à dupla maternidade em certidão de nascimento. **Folha de S.Paulo**, 28 ago. 2012. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/monicabergamo/1143922-casal-de-lesbicas-ganha-direito-a-dupla-maternidade-em-certidao-de-nascimento.shtml>>. Acesso em: abr. 2016.

- Do ponto de vista estritamente genético, Laura e Lucca podem ser considerados gêmeos? Justifique.
 - Do ponto de vista estritamente genético, Arthur e Beatriz podem ser considerados gêmeos? Justifique.
 - Deve haver mais semelhança genética entre Laura e Lucca ou entre Arthur e Beatriz? Justifique.
4. Uma mulher solicitou um teste de DNA para confirmar a paternidade de seus dois filhos. Para isso, foi a um laboratório, onde foi coletada amostra de sangue. Ela também levou ao laboratório amostras de cabelos dos filhos, do marido e de outro homem que poderia ser o pai. Os resultados estão na figura abaixo.

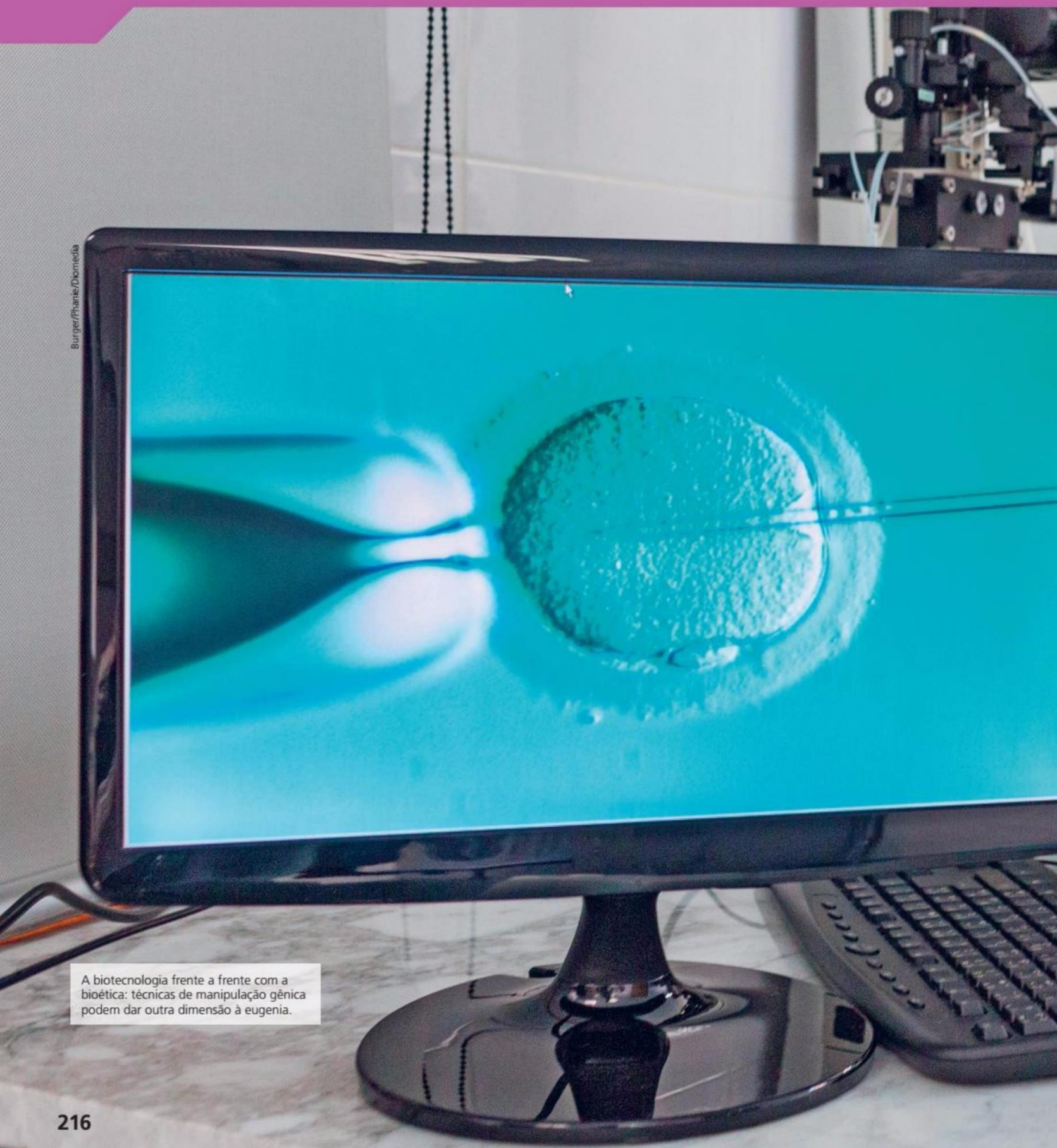
Mãe	Marido	Outro homem	Filho 1	Filho 2

- O que a análise do DNA revela sobre a paternidade do filho 1? Justifique.
- E sobre o filho 2? Justifique.

Mendel e variações

Do mapeamento cromossômico à genômica

Burger/Phanie/Diomedea



A biotecnologia frente a frente com a bioética: técnicas de manipulação gênica podem dar outra dimensão à eugenia.



As arriscadas fronteiras da eugenia

O ideário de criar uma sociedade formada por “belos, fortes e inteligentes” esteve presente em diversos episódios na história. Em Esparta, oito séculos antes de Cristo, pais de crianças com algum tipo de limitação física eram obrigados a deixá-las morrer; Platão, um dos pais da filosofia ocidental, defendia que a reprodução fosse controlada pelo Estado, para garantir a geração de bebês com “qualidades superiores”. No fim do século XIX, esse desejo ganhou o nome de **eugenia**, termo cunhado pelo inglês Francis Galton para designar o estudo da capacidade humana de aprimorar ou comprometer a qualidade das características biológicas das gerações futuras.

Tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, o conceito tornou-se popular nas décadas que se seguiram, e a lista dos entusiastas da eugenia incluiu Alexander Graham Bell (o inventor do telefone), o escritor George Bernard Shaw e o presidente norte-americano Theodore Roosevelt. Vários estados norte-americanos encamparam a eugenia e esterilizaram milhares de indivíduos que viviam em asilos e tinham inteligência considerada abaixo da média. Políticas públicas também foram implementadas no sentido de limitar a imigração de populações consideradas “geneticamente indesejáveis”, além de desenvolver programas para encorajar casais saudáveis a se reproduzirem.

Na Europa, essas ideias ganharam ainda mais popularidade e incubaram o maior empreendimento eugênico de que se tem notícia. A partir de 1933, a Alemanha nazista instituiu um programa de esterilização compulsória de pessoas com deficiência ou doenças hereditárias. Nos anos que se seguiram, o genocídio de judeus e ciganos foi uma das nefastas consequências dessa política. Todavia, a derrota da Alemanha na Segunda Guerra Mundial e a revelação dos crimes nazistas retiraram parte do prestígio da eugenia. Temendo novos abusos, boa parte da sociedade e dos acadêmicos voltou-se contra o conceito.

Diante de tal oposição, estaria a eugenia condenada a desaparecer? Aparentemente, não. Embora mais discretos, eugenistas continuam ativos em várias partes do planeta. Nos Estados Unidos, um famoso empreendimento nessa linha foi o banco de esperma de superdotados, idealizado pelo geneticista Hermann Muller. Ele dava preferência a doações de detentores de prêmio Nobel, como o próprio Muller, e outros homens com comprovado desempenho intelectual. Entre 1980 e 1999, o projeto prometia às mulheres que o procuravam a fantasia de gerarem pequenos gênios.

A fantasia eugenista não só persiste, como seu potencial cresceu nas últimas décadas, exibindo instrumentos mais sofisticados. Somos capazes de manipular a informação genética para replicar, modificar ou criar organismos. De Esparta aos nazistas, praticamente só havia duas maneiras de mudar as características da humanidade: ou se juntavam casais com determinadas características “desejadas” ou se descartavam (por esterilização ou morte) os indivíduos considerados inferiores.

Hoje, com os avanços da engenharia genética, é possível gerar bebês “sob medida”. Com recursos financeiros e acesso a determinados centros de pesquisa, é possível, por exemplo, conceber uma menina com cabelos loiros e baixo risco de desenvolver câncer de mama.

Três avanços científicos são essenciais para explicar as possibilidades e os riscos a que estamos expostos. O primeiro ocorreu em 1997, quando o *Roslin Institute*, um centro de pesquisas da Escócia, anunciou o nascimento de Dolly, ovelha clonada a partir de uma célula adulta de outra ovelha. Clones não são idênticos aos indivíduos que os originaram, porque uma série de fatores pode influenciar a forma como os genes se expressam. Basta lembrar que mesmo os gêmeos idênticos, que compartilham o mesmo genótipo, sempre apresentam algumas diferenças fenotípicas. Entretanto, a clonagem abriu as portas para a geração de organismos a partir de células somáticas – e não das células reprodutivas, como ocorre no mundo natural.

O segundo avanço foi o Projeto Genoma Humano (PGH), um esforço de 15 anos concluído em 2003, que identificou a sequência dos cerca de 25 mil genes que compõem os 23 pares de cromossomos humanos.

O terceiro avanço é de 2010, quando o geneticista Craig Venter, responsável pelo projeto privado de decifração do genoma humano, informou que teria produzido a primeira bactéria artificial. Venter diz que seu objetivo é desenvolver microrganismos capazes de produzir vacinas e biocombustíveis.

A clonagem, o PGH e as células sintéticas trouxeram um misto de esperança – dos que vislumbram a possibilidade de curar ou evitar doenças crônicas – e medo. Com as armas da biotecnologia, apresenta-se um mundo novo: para o bem ou para o mal, a humanidade parece ganhar o poder de interferir no próprio destino.

Ligação gênica

A partir do início do século XX, a Genética ganhou impulso. Em 1902, Walter Sutton e Theodor Boveri lançaram a **teoria cromossômica da herança**, em que estabeleceram nítida correlação entre o comportamento dos cromossomos, durante a meiose, e o comportamento dos “fatores” mendelianos. Os resultados das observações sugeriam que tais “fatores” estavam localizados nos cromossomos e que se separavam durante a formação dos gametas.

Em 1909, Thomas Morgan (ganhador do Prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia em 1935) iniciou o “período de ouro” da Genética. Esse pesquisador da Universidade de Columbia (EUA) abandonou os estudos de Embriologia e tornou-se geneticista. Diferentemente de Mendel, que trabalhava com ervilhas, Morgan decidiu estudar as moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*) (**figura 1**), e seu laboratório tornou-se conhecido como “a sala das moscas”.

Nigel Cattlin/Visuals Unlimited, Inc./Glow Images



Figura 1.
Mosca-das-frutas.

As drosófilas são pouco exigentes quanto à alimentação e ao ambiente, podendo ser criadas em frascos de vidro e alimentadas com frutas. Gerações dessas moscas sucedem-se em apenas duas semanas, e cada mosca pode originar centenas de descendentes. Existem muitos tipos de **mutantes** com variações bem contrastantes, o que facilita a observação e a separação das diferentes linhagens.

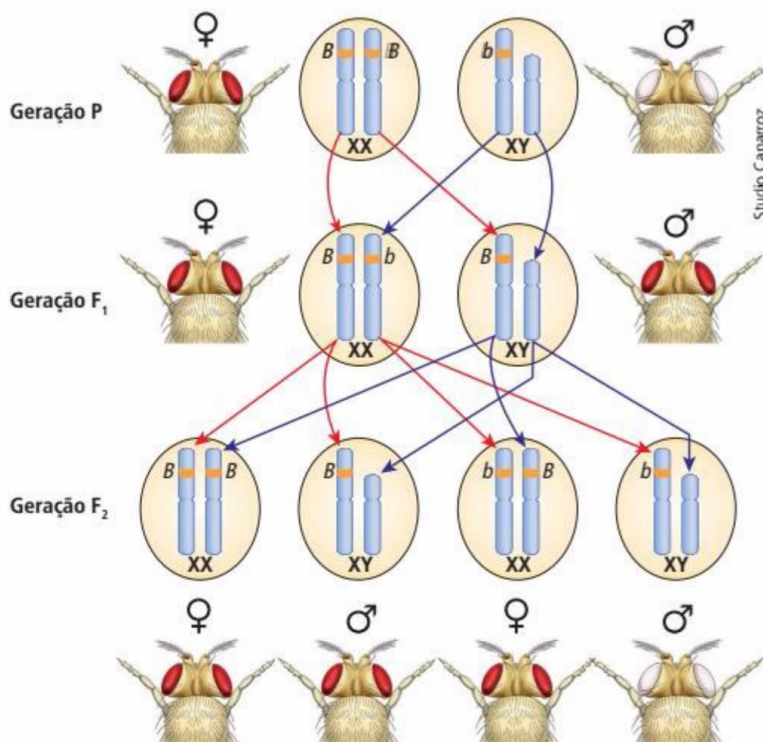
As células somáticas de drosófilas têm quatro pares de cromossomos, sendo três pares de autossomos e um par de cromossomos sexuais. Acompanhando gerações de moscas de fenótipo selvagem, Morgan esperava encontrar moscas mutantes. Meses depois, apareceu um macho de olhos brancos, em vez de olhos vermelhos, como são os de moscas selvagens.

Morgan cruzou esse mutante com fêmeas de olhos vermelhos (geração P). Todos os descendentes (geração F₁) tinham olhos vermelhos, indicando que o alelo que condicionava esse fenótipo era dominante.

▶ Fenótipos selvagens são aqueles encontrados com maior frequência na população; em geral, são dominantes, embora haja exceções.

Quando cruzou os descendentes entre si, Morgan observou que surgiam três moscas de olhos vermelhos para uma mosca de olhos brancos na geração F₂. Curiosamente, todas as moscas de olhos brancos da geração F₂ eram machos. Então, supôs que o alelo que condicionava olhos brancos estivesse localizado no cromossomo X, que ocorre em dose simples nos machos, permitindo a expressão do alelo recessivo (**figura 2**).

Figura 2. O alelo *b*, que condiciona olhos brancos, está localizado no cromossomo X, presente em dose dupla nas fêmeas e em dose simples nos machos. Nos machos portadores desse alelo (X^b), o fenótipo “olho branco” se expressa mesmo com o alelo em dose simples, uma vez que não há o alelo dominante X^B. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)



Studio Caparroz

Essa foi a primeira descoberta da localização de um gene, confirmando a hipótese de Sutton e Boveri. Como drosófilas só têm quatro pares de cromossomos homólogos, mas centenas de características, tornou-se óbvio para Morgan que os genes estariam “enfileirados” em um mesmo cromossomo.

O termo “gene” foi empregado pela primeira vez por Wilhelm Johannsen, em 1909, para identificar as “unidades da herança”.

A posição que os genes ocupam nos cromossomos interfere em seu comportamento durante a meiose. Na anáfase I (quando ocorre a separação dos cromossomos homólogos), os alelos localizados em um par de cromossomos homólogos podem separar-se independentemente dos alelos localizados em outro par. Porém, quando os alelos estão em um mesmo cromossomo, tendem a permanecer unidos e a seguir juntos para a mesma célula-filha, o que significa que não obedecem à segregação independente, expressa na segunda lei de Mendel. Entre eles, existe **ligação gênica** (ligação fatorial ou *linkage*).

Os genes localizados em um mesmo par de cromossomos homólogos constituem um **grupo de ligação**.

Entre as moscas mutantes, Morgan encontrou algumas de corpo preto e asas vestigiais (asas muito curtas). Quando essas moscas eram cruzadas com moscas homozigotas selvagens (corpo cinza e asas normais), todas as moscas da geração F_1 eram também normais, mostrando que os fenótipos das mutantes eram condicionados por alelos recessivos. Quando retrocruzava moscas da geração F_1 com genitoras mutantes, Morgan obtinha resultado diferente do predito pela segunda lei de Mendel (**figura 3**).

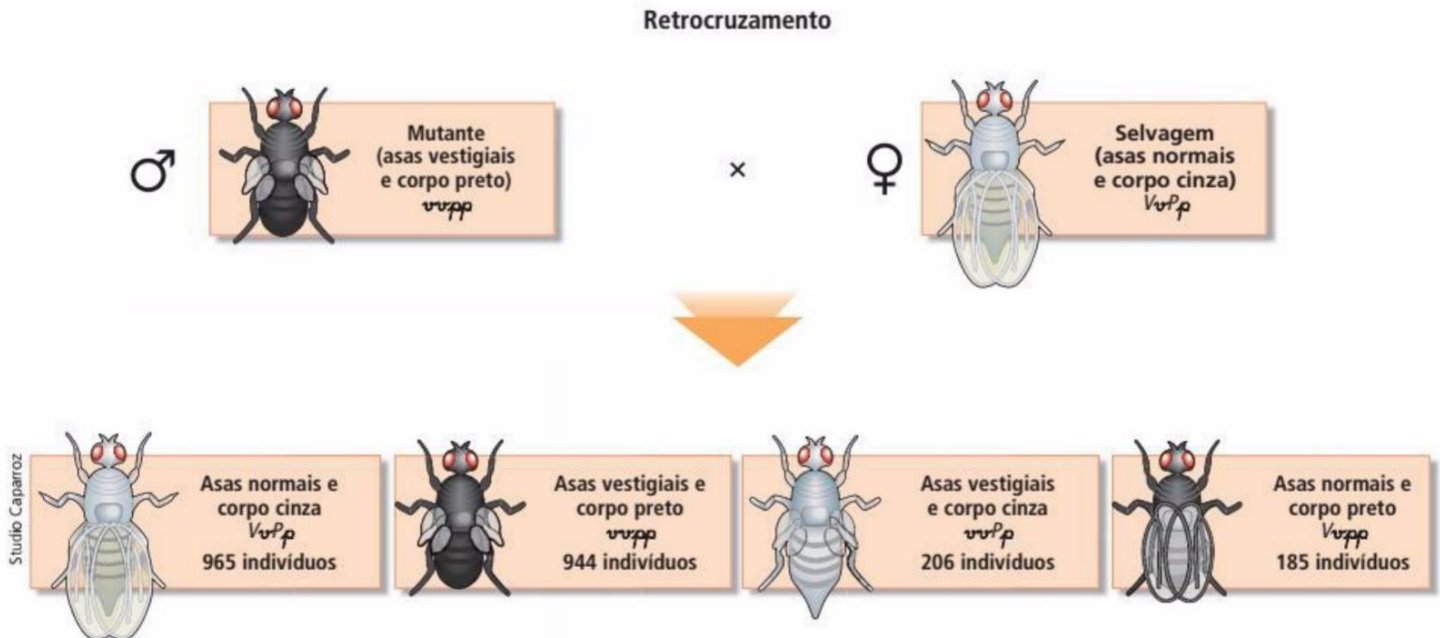


Figura 3. Na descendência do retrocruzamento, os quatro fenótipos aparecem em diferentes proporções, e não nas mesmas, como seria de esperar de acordo com a segunda lei de Mendel. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Os genes que condicionam a cor do corpo e a forma das asas estão em um mesmo cromossomo, não apresentando, portanto, segregação independente. Os indivíduos que repetem os fenótipos dos genitores são do tipo **parental**; os que exibem uma combinação de fenótipos de cada um dos genitores são do tipo **recombinante** (**figura 4**).

Contudo, se os genes condicionantes desses fenótipos estão ligados em um mesmo cromossomo, como explicar o aparecimento de moscas de corpo preto e asas normais, bem como o de moscas de corpo cinza e asas vestigiais?

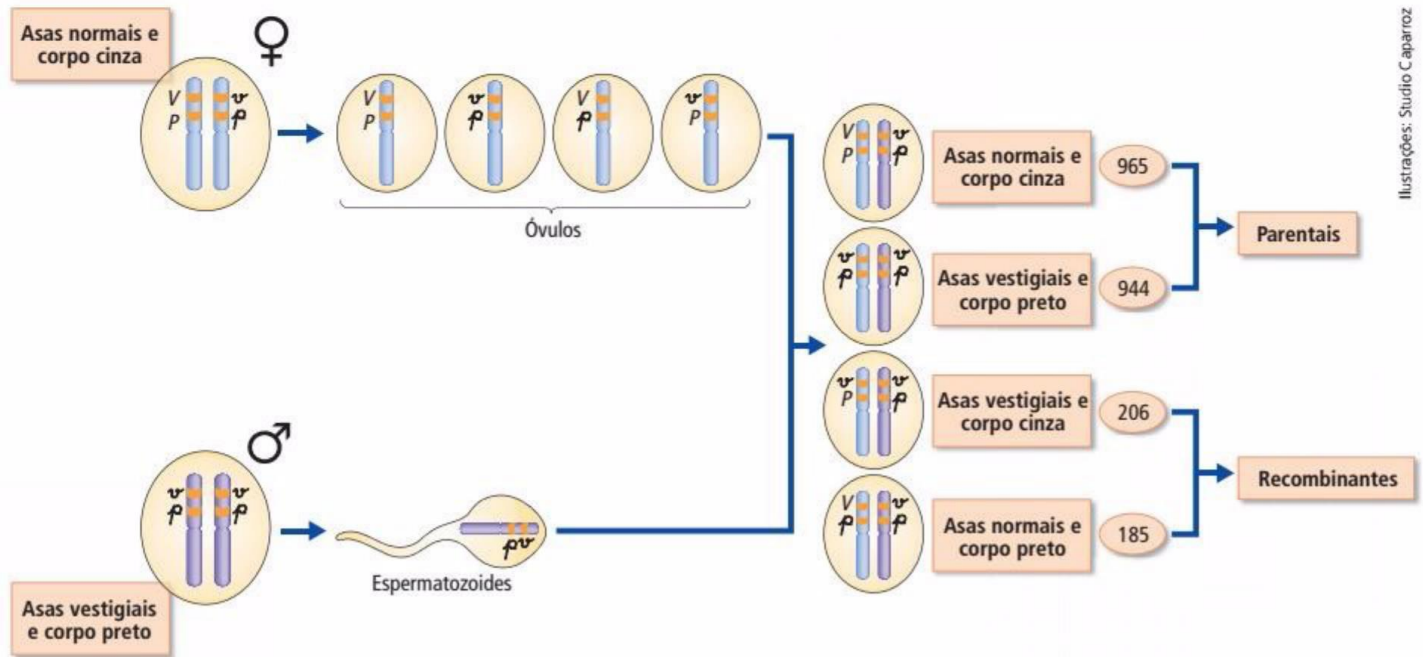


Figura 4. A frequência de indivíduos recombinantes reflete a proporção de gametas recombinantes que os genitores produzem. Quanto maior a frequência de permutações entre dois genes ligados, maior é a proporção de gametas recombinantes. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A explicação para esse resultado encontra-se na meiose: na prófase I, enquanto os cromossomos homólogos estão pareados, pode ocorrer **permutação** (ou *crossing-over*), que é a troca de fragmentos entre cromátides homólogas. Entretanto, não ocorre permutação entre determinados genes em todas as células.

Vejamos o que acontece se ocorrer permutação entre os genes *p* e *v*, em 60% das células produtoras de gametas de uma drosófila (**figura 5**).

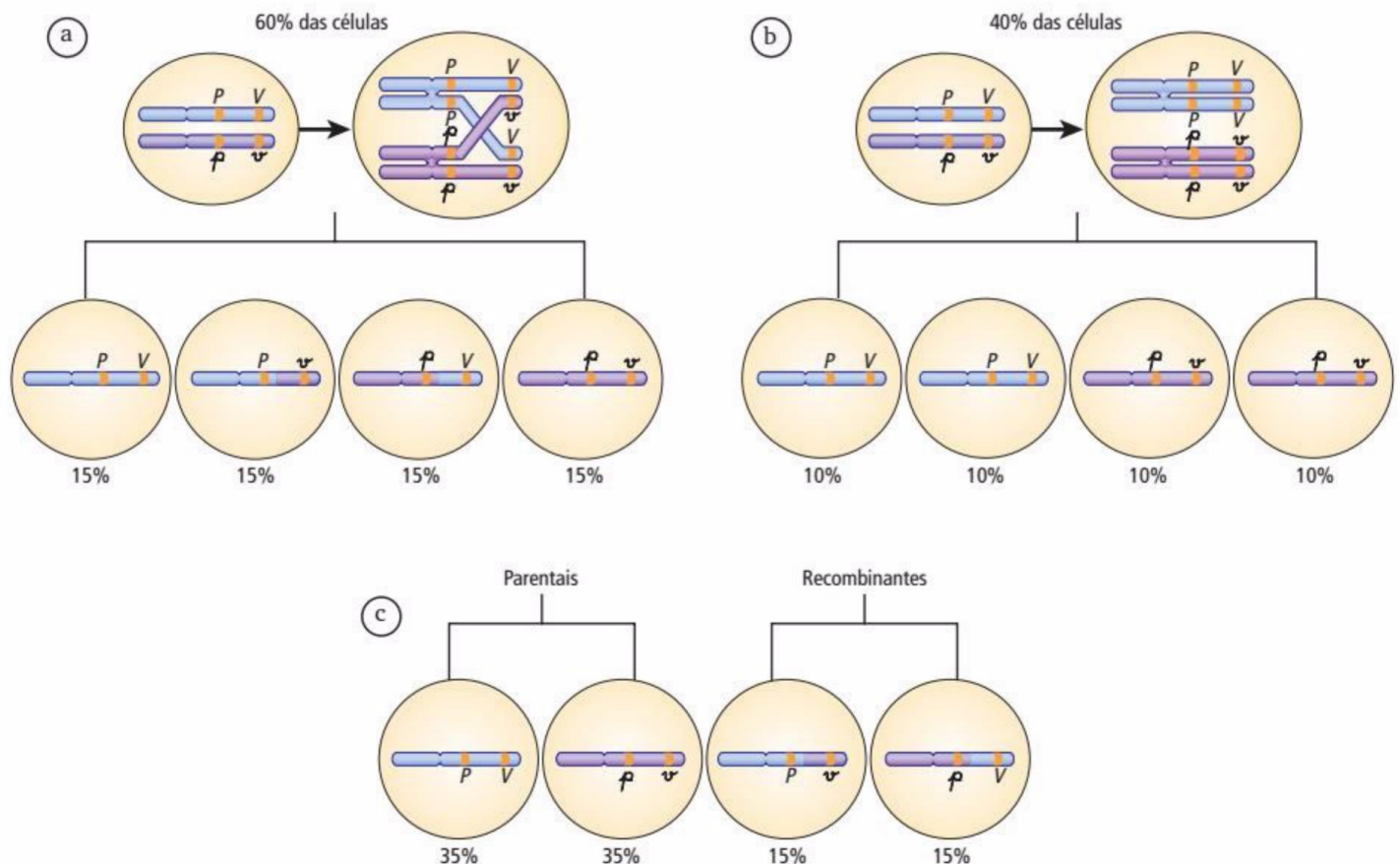


Figura 5. (a) As células em que ocorre permutação entre os pares de alelos *Pp* e *Vv* originam quatro tipos de gametas: *PV*, *Pv*, *pV* e *pv*. (b) As células em que não ocorre permutação formam dois tipos: *PV* e *pv*. (c) Os gametas *PV* e *pv*, formados mesmo que não ocorra permutação, repetem a ligação gênica existente nos cromossomos do indivíduo gerador e surgem em maior proporção, sendo chamados gametas parentais. Os gametas *Pv* e *pV*, que refletem a ocorrência da permutação, são gametas recombinantes, ocorrendo em menor proporção. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Como não se podem contar todos os gametas, a taxa de recombinação é calculada pela análise da descendência dos cruzamentos, que também permite estabelecer a distribuição dos alelos no par de cromossomos homólogos. Duas moscas podem possuir os mesmos alelos, mas, se eles apresentarem distribuições distintas no par de cromossomos homólogos, os tipos de gametas produzidos serão diferentes (**figura 6**).

Taxa de recombinação (TR) é a proporção de gametas recombinantes em relação ao total de gametas produzidos.

$$TR = \frac{\text{Quantidade de gametas recombinantes}}{\text{Quantidade total de gametas}}$$

A taxa de recombinação não reflete a porcentagem de células que sofrem permutação, mas a porcentagem de gametas recombinantes. Se ocorrer permutação entre dois pares de alelos em 100% das células em meiose, a proporção de gametas recombinantes será de 50%.

Durante a formação dos gametas da mosca 1 (**figura 6**), os que deverão surgir em maior proporção são os **gametas parentais** PV e pV , cuja formação não depende de permutação. Os **gametas recombinantes** Pv e pV deverão surgir em proporção menor que a dos parentais. Em um dos cromossomos, a mosca 2 tem os alelos P e v ; no outro, os alelos p e V . Assim, ela formará os gametas parentais Pv e pV em maior proporção e os gametas recombinantes PV e pV em menor proporção.

Há diversas maneiras de indicar a posição dos alelos no par de cromossomos homólogos. Veja, a seguir, as mais usadas.

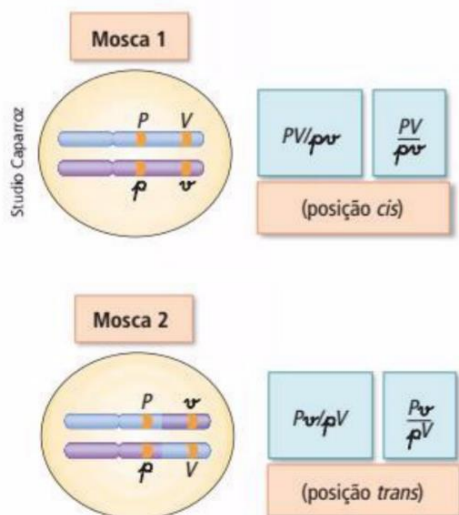


Figura 6. Essas duas moscas têm genótipo $PpVv$. Entretanto, a distribuição dos alelos no par de cromossomos homólogos é diferente. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Mapa cromossômico

A taxa de recombinação entre dois genes ligados é proporcional à distância entre eles no cromossomo. Dessa forma, quanto mais afastados estiverem dois genes em um cromossomo, maior será a probabilidade de ocorrer permutação entre eles e, portanto, maior será a taxa de recombinação. Esse princípio básico permitiu a elaboração dos primeiros **mapas cromossômicos**.

A elaboração de mapas cromossômicos baseia-se na definição clássica do gene como unidade da hereditariedade e com localização fixa nos cromossomos, o que não explica toda a plasticidade do material genético, como tem sido demonstrado.

A unidade de recombinação (UR) não é uma unidade de medida tradicional, no sentido que empregamos para o metro ou milímetro. Trata-se de uma unidade relativa, proporcional à taxa de recombinação entre os locos gênicos, e não à distância física entre eles.

Para construir mapas cromossômicos, parte-se de três premissas:

- Os genes dispõem-se ao longo dos cromossomos.
- A probabilidade de ocorrer permutação entre dois genes afastados é maior do que quando os dois genes estão próximos.
- A taxa de recombinação entre dois genes é proporcional à distância entre seus locos gênicos, permitindo que sejam posicionados no cromossomo.

Quando a taxa de recombinação entre dois genes é igual a 1%, a distância relativa entre seus locos gênicos é de uma **unidade de recombinação (UR)** ou morganídio.

O primeiro cromossomo mapeado foi o cromossomo II da drosófila. Nele, estão os genes p , r e v , cujas taxas de recombinação são as seguintes: entre p e v = 17%; entre p e r = 9%; entre r e v = 8%.

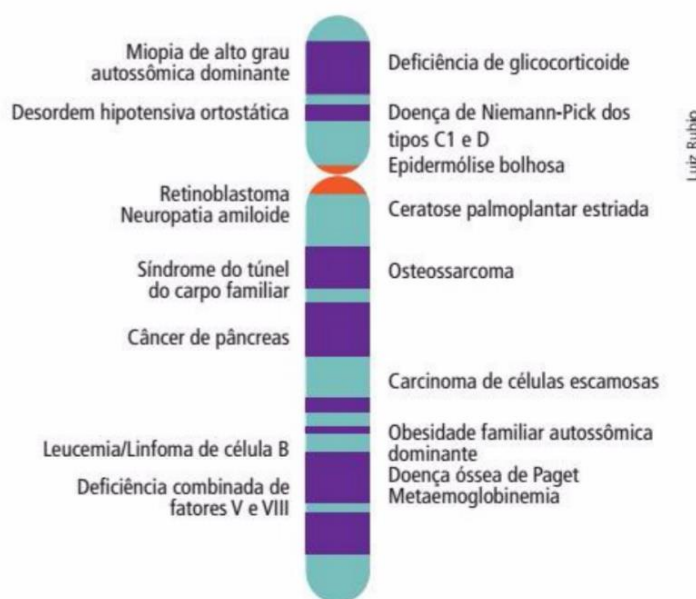
Com esses dados, conclui-se:

- Como a taxa de recombinação entre p e v é de 17%, seus locos distam 17 UR.
- Como a taxa de recombinação entre p e r é de 9%, seus locos estão separados por 9 UR.
- Há duas possibilidades para posicionar r a 9 UR de p : antes ou depois.

Se r estivesse à esquerda, a distância entre r e v seria de 26 UR (9 UR + 17 UR). Entretanto, como a taxa de recombinação entre r e v é de 8%, r deve estar à direita de p , a uma distância de 8 UR. Portanto, a sequência dos genes é $p - r - v$.

O mapeamento dos genes em um par de cromossomos homólogos obedece a três regras básicas:

1. Os gametas parentais são aqueles formados em maior proporção.
2. Os gametas parentais refletem a distribuição dos alelos no par de cromossomos homólogos.
3. A taxa de recombinação entre dois genes ligados determina a distância entre eles.



Fonte: BURNS, G.; BOTTINO, P. J. *Genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991.

Figura 7. Localização de alguns genes no cromossomo 18 de uma célula humana. Mesmo antes da conclusão do Projeto Genoma Humano, utilizando técnicas de mapeamento cromossômico, centenas de genes já haviam sido localizados nos 23 pares de cromossomos humanos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Uma nova ciência: a genômica

O **genoma** humano

O Projeto Genoma Humano (PGH) sequenciou as bases nitrogenadas do DNA das células humanas. As informações decorrentes do projeto proporcionaram aos pesquisadores uma importante oportunidade de revelar os segredos do DNA e a maneira pela qual os genes associam-se à ocorrência de certas doenças.



Célula

Cada uma dos trilhões de células somáticas do corpo humano possui

46

cromossomos localizados no núcleo celular.

Cromossomo

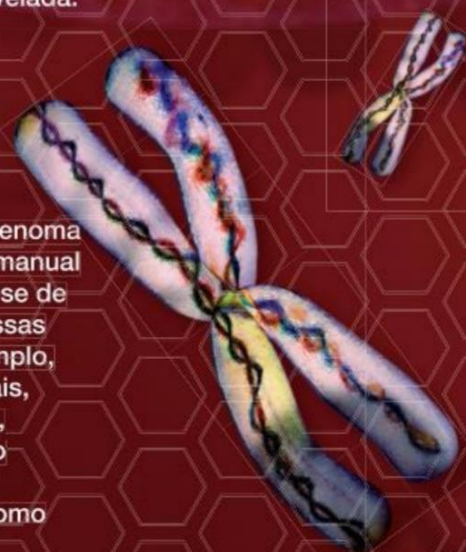
Metade dos cromossomos tem origem materna; a outra metade tem origem paterna. Cada cromossomo contém uma longa **molécula de DNA** (ácido desoxirribonucleico) densamente enovelada.

Genes

23 mil

segmentos de DNA

Grande parte do DNA do genoma organiza-se em genes, o “manual de instruções” para a síntese de cada proteína do corpo. Essas proteínas podem, por exemplo, ser componentes estruturais, catalisar reações químicas, regular a taxa de açúcar no sangue e os batimentos cardíacos ou determinar como um certo alimento ou medicamento é metabolizado.



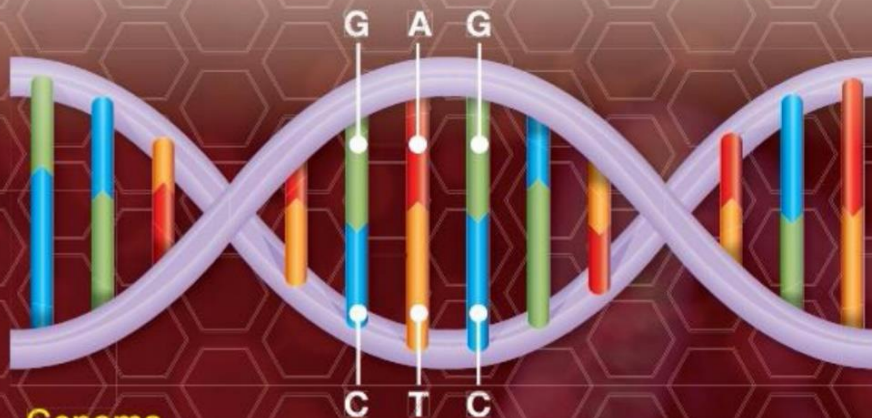


DNA

Se todo o DNA dos cromossomos de uma única célula humana fosse desenrolado, alcançaria mais de

1,8 m

de comprimento.



Genoma

O DNA é formado por blocos químicos (bases nitrogenadas conhecidas por suas abreviações: A, C, T e G) distribuídos ao longo da molécula, em diferentes combinações. Juntas, as moléculas de DNA de todos os cromossomos humanos – com mais de 3 bilhões de letras – constituem o genoma humano. Quando os cientistas dizem que “sequenciaram” o genoma humano, estão afirmando que determinaram a sequência de letras A, T, C e G em todos os cromossomos.

G A C T C C T G A G G A G A A G
C T G A G G A C T C C T C T T C

CERTO



G A C T C C T G T G G A G A A G
C T G A G G A C A C C T C T T C

ERRADO



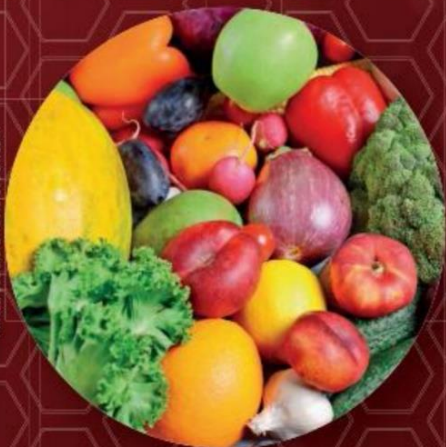
“Erros ortográficos” na sequência

A maneira como as bases nitrogenadas são “soletradas” faz toda a diferença – uma letra fora do lugar em um gene pode causar uma doença. Agora que se conhece a sequência delas no genoma humano, pesquisadores podem comparar o DNA de pessoas com uma certa doença com o DNA daquelas que não a têm. Se houver diferenças na posição e/ou no sequenciamento de bases em certos trechos do DNA, existe a possibilidade de que a doença esteja relacionada ao “erro” presente naquele gene.

Manday/Shutterstock.com



Africa Studio/Shutterstock.com



Nickolay Khorsikov/Shutterstock.com



Genes e doenças

Já foram identificadas mais de 6 mil doenças – como a doença de Huntington e a fibrose cística – diretamente associadas a alterações genéticas em genes únicos ou em alguns genes. Porém, a contribuição genética para muitas moléstias comuns – como a diabetes e as doenças cardíacas – constitui um verdadeiro enigma, que pode envolver dieta, hábitos de vida, fatores ambientais e mesmo a participação de numerosos genes. Para essas enfermidades, talvez os “erros ortográficos” no genoma contribuam apenas com uma pequena parcela em relação a outros fatores.

(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Após os trabalhos pioneiros de Morgan, geneticistas de todo o mundo passaram a pesquisar a localização de genes nos cromossomos humanos. Em 1986, já eram mais de 1500 os genes codificados.

Em 1987, desencadeou-se o Projeto Genoma Humano (PGH) — em parceria entre o Departamento de Energia dos Estados Unidos e os institutos nacionais de saúde daquele país —, cuja meta foi fazer o **sequenciamento genético**, ou seja, sequenciar todos os cerca de 3 bilhões de pares de nucleotídeos presentes nos cromossomos humanos (**figura 8**). Além de cientistas dos Estados Unidos, o núcleo do projeto incluiu também pesquisadores do Canadá, Japão, Alemanha, Itália, França e Inglaterra. Não apenas por coincidência, são os mesmos países que compõem o G-7.

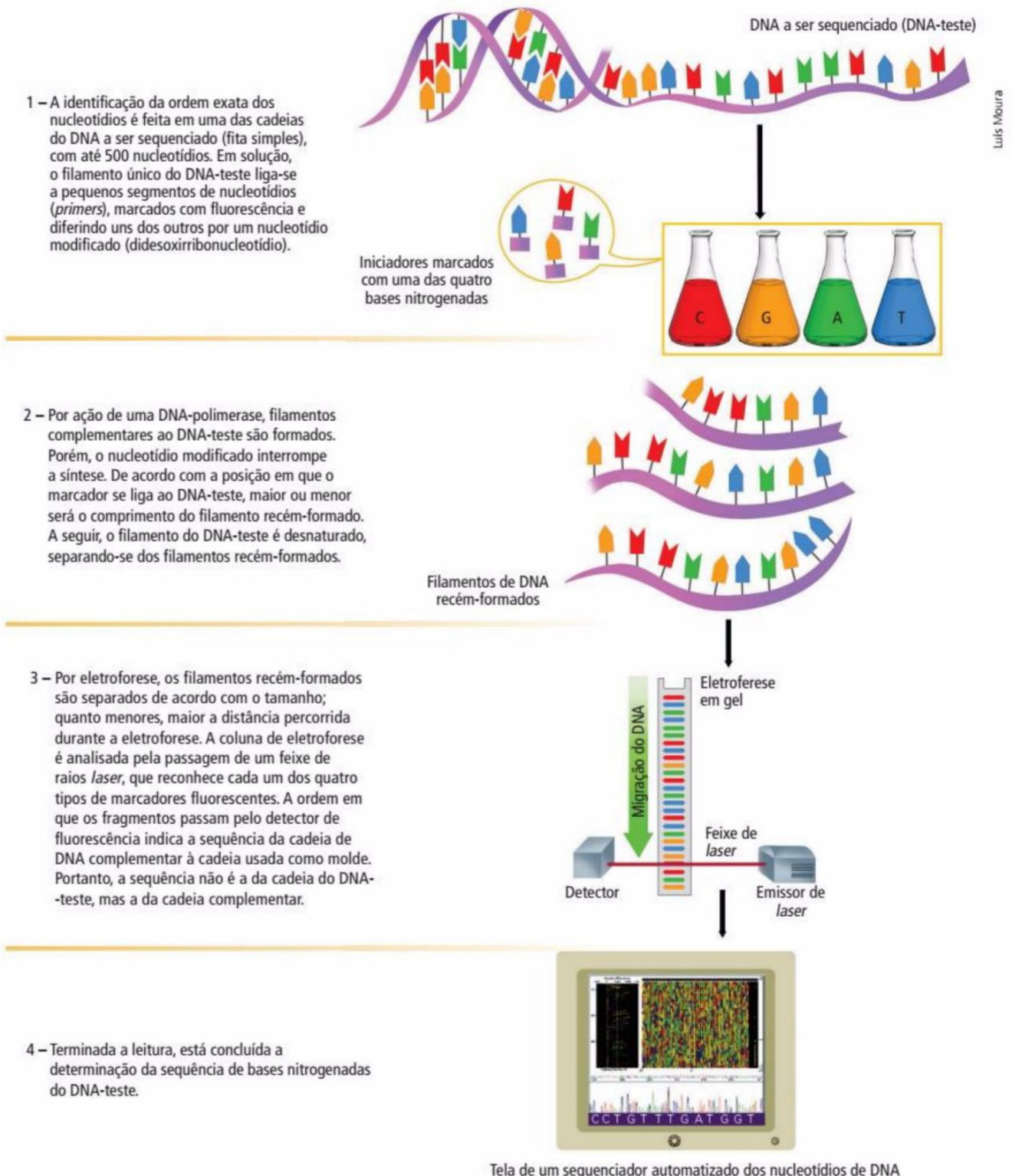


Figura 8. Esquema de sequenciamento de DNA. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A conclusão do PGH (cujo custo total foi estimado em US\$ 5 bilhões) estava prevista para 2005, mas os primeiros dados — cerca de 90% do sequenciamento — chegaram ao conhecimento do público no primeiro semestre de 2000. A espantosa velocidade com que chegou ao fim, em 2003, deveu-se entre outras razões ao desenvolvimento de sequenciadores automatizados, a partir de 1991.

A primeira etapa do PGH consistiu em localizar cerca de 25 mil genes humanos. Entretanto, essa não foi a única meta deste que é considerado o mais ambicioso projeto científico de todos os tempos, desde a ida de astronautas à Lua.

Com o PGH, pretendeu-se não apenas mapear todo o genoma, mas também conhecer detalhes do seu funcionamento.

Com essas informações, os pesquisadores podem:

- a) entender com mais detalhes os papéis do DNA e dos genes;
- b) comparar o genoma humano com o de outros seres vivos;
- c) investigar as interações entre as sequências de DNA, os genes, seus produtos funcionais (proteínas, geralmente) e suas expressões fenotípicas;
- d) compreender as interações entre o material genético e os fatores ambientais na determinação dos fenótipos;
- e) analisar as variações genéticas entre indivíduos e entre grupos populacionais;
- f) investigar a origem e a evolução dos seres humanos e de outros organismos;
- g) compreender melhor determinadas doenças humanas;
- h) identificar precocemente pessoas com propensão a desenvolver certas doenças.

No campo da saúde, o PGH poderá criar uma nova forma de medicina, a medicina preditiva, que daria, com antecedência, informações sobre o estado de saúde das pessoas. Com as descobertas do PGH, será possível conhecer os fatores de predisposição a determinadas doenças; dependendo dos resultados, os indivíduos poderão se precaver contra algumas delas.

Essa forma de medicina poderá acarretar uma série de dilemas de natureza ética, que deverão ser discutidos por toda a sociedade. Para o paciente, o diagnóstico muito precoce de doenças antecipa a passagem do indivíduo de “sadio” para “doente”. Poderão ocorrer ainda novas formas de estigmatização e preconceito. É possível, por exemplo, que as empresas venham a exigir testes genéticos dos candidatos a emprego e, dependendo dos resultados, passem a recusar contratações. Os planos de saúde poderão solicitar, previamente, testes genéticos dos consumidores, recusando-se a aceitar aqueles que tiverem predisposição ao desenvolvimento de determinadas moléstias. É importante lembrar que a predisposição genética não acarreta, necessariamente, a manifestação da doença.

► Genômica no Brasil

Com mais de 30 laboratórios e cerca de 200 pesquisadores em quatro diferentes projetos, um laboratório virtual foi montado com base em uma rede na internet e, por meio dele, universidades e centros de todo o país se comunicam permanentemente.

O primeiro projeto de pesquisa em genômica, no Brasil, foi o sequenciamento genético da bactéria *Xylella fastidiosa*, que causa uma doença chamada clorose variegada dos citros, também conhecida como amarelinho, que afeta laranjais (**figura 9**). Esse projeto ficou conhecido como Projeto Genoma da bactéria *Xylella*.

Leia matéria sobre genômica no artigo **Genoma humano e a era pós-genômica** da Revista Pesquisa Fapesp. Disponível em: <<http://tub.im/t2kvsu>>. Acesso em: mar. 2016.



Figura 9. Laranjas atacadas pelo amarelinho. O sequenciamento dos genes da bactéria causadora dessa doença pode ajudar em seu controle.

O caso Angelina Jolie

Foi sem dúvida surpreendente e corajoso o artigo que Angelina Jolie escreveu para o jornal "The New York Times", no qual a atriz revelou ter feito cirurgia para retirar as mamas e assim diminuir o risco de desenvolver um câncer.

Habituada a usar em favor de causas humanitárias o interesse que desperta na imprensa, Jolie, desta vez, deflagrou um debate acerca do procedimento — controverso — e da promessa de uma medicina cada vez mais personalizada, baseada em informações do perfil genético do paciente.

Jolie, 37, decidiu realizar dupla mastectomia preventiva após descobrir uma mutação no gene BRCA 1 que a torna extremamente propensa a desenvolver tumores nas mamas e nos ovários — ela ainda planeja removê-los. Segundo a atriz, o risco de câncer de mama era de 87%, e o de ovário, de 50%.

[...]

Procedimentos como o adotado por Jolie se tornaram possíveis depois que pesquisadores identificaram nos genes BRCA 1 e 2 variantes deletérias associadas à doença e desenvolveram testes para detectá-las. Num lance questionável, ambos os genes foram patenteados nos Estados Unidos [...]. O caso está na Suprema Corte norte-americana.

Não menos polêmica é a decisão de Jolie de remover preventivamente tecidos que, até prova em contrário, permaneciam saudáveis. Diversos profissionais de saúde sustentam que seria preferível um acompanhamento rigoroso, ou até uma quimioterapia profilática, à solução tão radical.

O problema é que ainda não há um número suficiente de casos para

determinar de forma estatisticamente segura qual é a melhor conduta. A escolha acaba definida pela tolerância ao risco de cada paciente — decisão pessoal e intransferível, para a qual contribuiu, no caso de Jolie, o fato de sua mãe ter morrido de câncer aos 59 anos.

Não demorará para que cientistas identifiquem novas associações entre variantes genéticas e moléstias, estendendo a mais pessoas dilemas como o vivido pela atriz.

Se a era da medicina personalizada acena com medicamentos e terapias mais eficientes, desenhados para o perfil genético de determinada pessoa, também deverá multiplicar as ocasiões em que se conhecerá a doença, mas não a cura. Cada um terá de escolher de quanta informação necessita.

O caso Angelina Jolie. **Folha de S.Paulo**, 16 maio 2013. Fornecido pela Folhapress. Disponível em: <www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/109088-o-caso-angelina-jolie.shtml>. Acesso em: mar. 2016.

SÍNDROME HEREDITÁRIA DE CâNCER DE MAMA E OVÁRIO

Ocorre devido à mutação do gene BRCA1 ou do gene BRCA2

Células humanas
Todas têm 22 pares de cromossomos, além dos cromossomos sexuais X e Y



O cromossomo 13 contém 924 genes, incluindo o BRCA2



O cromossomo 17 contém 1.672 genes, incluindo o BRCA1



> Esses genes produzem proteínas que previnem o crescimento descontrolado de células, protegendo assim, contra o surgimento de tumores de mama, ovário, pâncreas e próstata

> Em casos de mutação, eles deixam de funcionar adequadamente, expondo o paciente ao risco de câncer

RISCOS DE DESENVOLVER CâNCER AO LONGO DA VIDA

Mutação no BRCA1



Mutação no BRCA2



Fontes: Stanford Cancer Centre, Inca (Instituto Nacional de Câncer) e Graphic News

Editoria de arte/Folhapress

Atividades

Escreva no caderno

Depois de ler a notícia responda às questões em seu caderno.

1. O que existe de simbólico em a decisão ter sido tomada por uma mulher com a projeção mundial da atriz Angelina Jolie?
2. Essa notícia reacende uma questão polêmica: por meio de patentes, empresas podem restringir pesquisas e controlar informações sobre o código genético humano.
 - a) Por trás da questão das patentes, há outra: a decifração do genoma é uma invenção ou uma descoberta? Justifique sua opinião.
 - b) A descoberta de determinado gene (por exemplo, o responsável por uma doença hereditária) é ou não passível de ser patenteada? Justifique sua opinião.
 - c) Discuta o significado da última frase do texto "Cada um terá de escolher de quanta informação necessita."

- Genes que estão em um mesmo cromossomo não seguem o princípio da segregação independente, expresso na segunda lei de Mendel.
 - Como se denomina o fenômeno em que as cromátides não irmãs de um par de cromossomos homólogos trocam fragmentos entre si?
 - Qual a importância desse fenômeno para uma determinada população?
- (UFMS) Numa determinada espécie vegetal, os genes *A* e *B* distam entre si 17 (dezesete) unidades de recombinação. Qual a porcentagem de gametas *Ab* que um indivíduo duplo heterozigoto *AB/ab* formará?
- (UFTM-MG) A fenilcetonúria é uma doença recessiva determinada por alelo localizado no cromossomo 12. Pessoas com essa doença não conseguem metabolizar o aminoácido fenilalanina, que, em excesso, pode provocar retardamento mental. Já a hipercolesterolemia familiar (nível de colesterol muito elevado), é uma doença determinada por alelo dominante, provavelmente localizado no cromossomo 19. Baseando-se nos dados, pessoas heterozigotas quanto a esses dois pares de alelos podem gerar quatro tipos diferentes de gametas. Por que, nessas pessoas, não são formados apenas dois tipos de gametas? Em que situação isso ocorreria?
- Na espécie humana, um loco gênico autossômico pode ser ocupado por um alelo recessivo *c*, que determina o aparecimento de catarata congênita. Outro loco gênico autossômico pode ser ocupado pelo alelo recessivo *d*, que causa um tipo de distrofia muscular.
Um homem produz os seguintes gametas, nas proporções indicadas: 47% *CD*, 3% *Cd*, 3% *cD* e 47% *cd*.
 - Como esses alelos estão distribuídos nos cromossomos desse homem?
 - Qual é a taxa de recombinação entre esses genes?
 - Qual é a distância relativa entre os locos desses genes?
- (UFRN) Numa espécie vegetal, flor branca é condicionada por um alelo *A*, e o alelo recessivo *a* determina a cor vermelha. O alelo *B* condiciona flor axilar, e o alelo recessivo *b* flor terminal. Do cruzamento entre plantas heterozigotas de flores brancas axilares com plantas de flores vermelhas terminais, obteve-se o seguinte resultado:
 - 40% de plantas com flores brancas axilares;
 - 10% de plantas com flores brancas terminais;
 - 10% de plantas com flores vermelhas axilares;
 - 40% de plantas com flores vermelhas terminais.
 - Represente o genótipo das plantas heterozigotas do cruzamento.
 - Expresse a distância entre esses dois locos gênicos.
- O macho de uma espécie tem genótipo *AaBb* do tipo *trans*. Sabendo-se que a taxa de recombinação entre *a* e *b* é igual a 16%, pergunta-se:
 - Considerando esses dois pares de alelos, que tipos de gametas (e em que proporções) esse macho produz?
 - Cruzado com uma fêmea *AaBb* do tipo *cis*, qual é a probabilidade de nascer um descendente duplo-recessivo?
- (Ufop-MG) Admita que os genes *a*, *b*, *c*, *d* estejam localizados no mesmo cromossomo, apresentando as seguintes taxas de recombinação: entre *a* e *b* = 20%; entre *a* e *c* = 10%; entre *a* e *d* = 40%; entre *b* e *d* = 20%; entre *c* e *d* = 30%. Com estes dados, indique a sequência mais provável dos genes no cromossomo.

8. (Fuvest-SP)

Os genomas de dois parasitas que causam a esquistossomose foram sequenciados, um passo que pode levar a vacinas para tratar e erradicar a doença. A esquistossomose causa mais enfermidade do que qualquer outra doença parasitária, com exceção da malária.

New Scientist, 20 set. 2003.

O que significa dizer que os genomas dos dois parasitas foram sequenciados?

9. (Unicamp-SP) Os locos gênicos *a* e *b* localizam-se em um mesmo cromossomo e distam 10 unidades de recombinação (morganídeos).

- Como se denomina a situação mencionada?
- Supondo o cruzamento *AB/ab* com *ab/ab*, qual será a porcentagem esperada de cada genótipo possível na descendência?

- As distâncias entre cinco genes localizados em um grupo de ligação de um determinado organismo estão contidas na tabela ao lado. Identifique o mapeamento correto para tal grupo de ligação.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
<i>a</i>	—	8	12	4	1
<i>b</i>	8	—	4	12	9
<i>c</i>	12	4	—	16	13
<i>d</i>	4	12	16	—	3
<i>e</i>	1	9	13	3	—

- (Unifesp-SP) Os locos *M*, *N*, *O*, *P* estão localizados em um mesmo cromossomo. Um indivíduo homozigoto para os alelos *M*, *N*, *O*, *P* foi cruzado com outro, homozigoto para os alelos *m*, *n*, *o*, *p*. A geração F1 foi então retrocruzada com o homozigoto *m*, *n*, *o*, *p*. A descendência desse retrocruzamento apresentou:

- 15% de permuta entre os locos *M* e *N*;
- 25% de permuta entre os locos *M* e *O*;
- 10% de permuta entre os locos *N* e *O*.

Não houve descendentes com permuta entre os locos *M* e *P*. Responda:

- Qual a sequência mais provável desses locos no cromossomo? Faça um esquema do mapa genético desse trecho do cromossomo, indicando as distâncias entre os locos.
- Por que não houve descendentes recombinantes com permuta entre os locos *M* e *P*?

12. (UFSCar-SP) Leia o trecho a seguir.

Assim como uma receita de bolo é composta de diversas instruções, o genoma também é composto de milhares de comandos, que chamamos genes. Aliás, cada ser vivo tem sua própria receita, seu próprio genoma [...]. Cada um de nossos genes, composto por uma sequência específica de DNA, é uma instrução dessa receita. Entretanto, podem existir «versões» diferentes para cada gene, formas diferentes de uma mesma instrução [...].

Adaptado de Lygia da Veiga Pereira. **Sequenciaram o genoma humano... E agora?**

- Por meio de qual processo se originam as «versões» diferentes de cada gene a que se refere a autora?
 - No texto, a palavra genoma poderia ser substituída por código genético? Justifique.
- (UFRJ) Em junho de 2001, foi publicada a sequência quase completa do genoma humano. Esse projeto contou com a participação de diversos laboratórios, que individualmente determinaram a sequência de vários trechos diferentes do DNA de todos os cromossomos, a partir da amostra de somente um indivíduo, que permaneceu anônimo. Sabe-se, no entanto, que o DNA era de um indivíduo do sexo masculino. Por que foi importante determinar a sequência do DNA de um homem, e não de uma mulher?

Um conceito em crise

[...] Caímos em todos os tipos de armadilhas ao tentarmos ser historiadores do presente. Mas, talvez, a mais séria, especialmente em tempos excitantes como o nosso, é que a história pode acontecer muito mais rápido do que um acadêmico (pelo menos, um como eu) pode escrever.

Evelyn Fox Keller (1936-), física, escritora e feminista norte-americana.¹

No início do século XX, Morgan conseguiu estabelecer o elo entre gene e cromossomo, quando descobriu que o gene condicionante da cor dos olhos, em *Drosophila*, encontrava-se no cromossomo X. Desde então, e durante quase todo o século XX, teve lugar uma verdadeira competição entre geneticistas pela localização dos genes e por completar o mapeamento dos cromossomos, particularmente dos cromossomos humanos. Esteve em evidência “descobrir genes” e assinalar a localização precisa de cada um deles.

Na metade do século XX, com a descoberta da estrutura molecular do DNA, os cientistas passaram a compreender melhor o papel dos ácidos nucleicos na síntese de proteínas e na determinação das características fenotípicas. Estabeleceu-se, então, o axioma que ficou conhecido como o **dogma central da Biologia**: “Um gene determina a síntese de um produto funcional (em geral, um polipeptídeo); consequentemente, determina a manifestação de uma característica”. Essa visão apontava para dois conceitos fundamentais, ambos duramente criticados atualmente:

- **Determinismo genético.** Representa o poder absoluto dos genes sobre o fenótipo. O material genético é a receita de ser e de viver dos seres vivos. Em outras palavras, trata-se de uma abordagem reducionista segundo a qual os organismos são exatamente o que determina o material genético.
- **Fluxo unidirecional de informações.** As informações contidas no DNA são transcritas em moléculas de RNA mensageiro que, junto aos ribossomos, determinam a síntese de polipeptídeos, os quais definem a estrutura e o funcionamento dos seres vivos.

O final da década de 1980 viu nascer o Projeto Genoma Humano. Implantado oficialmente em 1990, teve como proposta sequenciar todas as bases nitrogenadas do DNA humano, ou seja, cerca de 3,2 bilhões de pares. A divulgação dos primeiros resultados do PGH levou a Biologia a um lugar de destaque na mídia e consolidou um dos novos ramos da ciência: a genômica. Em 2001, já com a maior parte dos resultados divulgada, Francis Collins, cientista norte-americano e um dos coordenadores do PGH, resumiu sua visão do projeto:

É um livro de história — a narrativa da viagem de nossa espécie pelo tempo. É um manual de instruções, um projeto incrivelmente detalhado de construção das células humanas. É um livro que vai transformar a medicina, dando aos profissionais da saúde novos e imensos poderes para tratar, prevenir e curar doenças.

COLLINS, F. S. **National Human Genome Research Institute**. Disponível em: <www.genome.gov/12011238>. Acesso em: mar. 2016. (Tradução nossa.) Cortesia: Instituto Nacional de Pesquisa do Genoma Humano.

Levando-se em conta a correspondência **um gene – uma proteína**, a expectativa inicial era de se encontrar cerca de 140 mil genes no genoma humano. Entretanto, logo que os primeiros resultados do PGH começaram a aparecer, alguma coisa parecia estranha: a quantidade de genes estava muito longe do número esperado, e os dados mostravam que o ser humano possui cerca de 20 mil genes.

Como um livro com “apenas” 20 mil receitas pode comandar a síntese de 140 mil produtos diferentes? A relação um gene – uma proteína acabava de receber um duro golpe.

A genômica consolidou o que vinha sendo discutido nas últimas décadas: o conceito de gene encontra-se em dificuldade! Se há menos genes do que produtos funcionais, não se sustenta o conceito do gene como **unidade estrutural e funcional** do material genético — e menos ainda a visão do cromossomo como uma **sequência linear de genes**. Outras descobertas recentes — até mesmo algumas anteriores ao PGH — já haviam fragilizado o conceito clássico de gene.

¹ KELLER, E. F. **O século do gene**. Belo Horizonte: Crisálida, 2002.

Apresentaremos, a seguir, algumas dessas descobertas.

Transcrição reversa

Por ação da enzima transcriptase reversa, a informação genética pode fluir “na contramão”, ou seja, do RNA para o DNA. A transcrição reversa ocorre não apenas em vírus e procariontes, mas também em eucariontes.

Reparo do DNA

As células possuem sistemas enzimáticos de reparo das alterações que, apesar da estabilidade do DNA, eventualmente ocorrem em sua molécula. Assim, as proteínas não são apenas produto da ação gênica; são também mantenedoras da estabilidade da própria informação genética.

Ação catalítica do RNA

Moléculas de RNA (chamadas **ribozimas**) podem agir como catalisadores biológicos, exercendo um papel que era considerado exclusivo das enzimas (que são proteínas). Assim, o RNA pode desempenhar um papel mais direto na expressão do fenótipo, independentemente da ação de proteínas.

Edição do RNA mensageiro

A partir do DNA, a transcrição origina uma molécula chamada pré-RNA mensageiro (ou pré-RNAm), que sofre **modificações pós-transcricionais** e origina o **RNAm maduro**. Essas modificações — ou edições — podem ser comparadas ao que acontece com um texto que, depois de escrito, é editado. A edição do RNA pode cortar e remontar a cadeia de nucleotídeos (processo chamado *splicing*), alterando a própria sequência destes. Assim, modificam-se os aminoácidos incorporados à cadeia polipeptídica correspondente.

Modificações pós-traducionais

Diversos tipos de alterações acontecem com as proteínas, depois de concluída a síntese pelos ribossomos: perda ou acréscimo de aminoácidos, substituição de aminoácidos, ligação de moléculas de carboidratos ou lipídios e outras.

Regiões regulatórias do DNA

As células não produzem todas as proteínas simultaneamente nem na mesma velocidade. Há mecanismos que determinam o momento em que cada uma delas é sintetizada e sua quantidade.

No DNA, existem segmentos de nucleotídeos que não resultam em produtos funcionais — ou seja, não são transcritos em RNAm, capaz de traduzir em um polipeptídeo. Esses segmentos atuam como botões de “liga” e “desliga” de segmentos vizinhos. Em bactérias, um exemplo conhecido é o que controla a produção da **beta-galactosidase**, enzima que hidrolisa a **lactose** (um dissacarídeo) em glicose e galactose (monossacarídeos). Quando a bactéria está em um meio de cultura que contém lactose, possui cerca de 3 000 moléculas da enzima; se o meio de cultura não contém o dissacarídeo, apenas algumas moléculas são encontradas. Vejamos como isso acontece.

No meio de cultura rico em lactose, a presença do dissacarídeo faz um segmento controlador (chamado **opéron-lac**) “ligar” o segmento de DNA com o gene responsável pela síntese da beta-galactosidase, permitindo que a bactéria produza a enzima e aproveite essa importante fonte de energia. Por outro lado, se a bactéria está em um meio sem lactose, o opéron-lac “desliga” o mecanismo de síntese da beta-galactosidase, evitando o consumo desnecessário de matéria-prima e de energia. O opéron-lac é um **opéron indutor**, porque a presença da lactose no meio de cultura induz a produção da lactase.

Em determinadas bactérias, existe um sistema enzimático que sintetiza o **triptofano**, aminoácido fundamental para a sobrevivência e a reprodução bacteriana. Quando o meio de cultura não contém triptofano, o **opéron-trp** “liga” o segmento de DNA responsável pela transcrição do RNA mensageiro que comanda a produção das enzimas participantes da biossíntese do triptofano, e o aminoácido é produzido. Se o meio de cultura é rico em triptofano, a bactéria pode absorvê-lo e não necessita sintetizá-lo. O opéron-trp “desliga” o segmento de DNA, evitando a síntese desnecessária das enzimas e do próprio triptofano. Portanto, o opéron-trp é um **opéron repressor**.

Em eucariontes, há mecanismos de indução e repressão mais complexos que os encontrados em procariontes. Neles, foram descobertas regiões regulatórias em segmentos de DNA onde não havia nenhum gene mapeado. Essas regiões, antes denominadas “DNA lixo”, têm hoje reconhecido seu papel na regulação da expressão gênica.

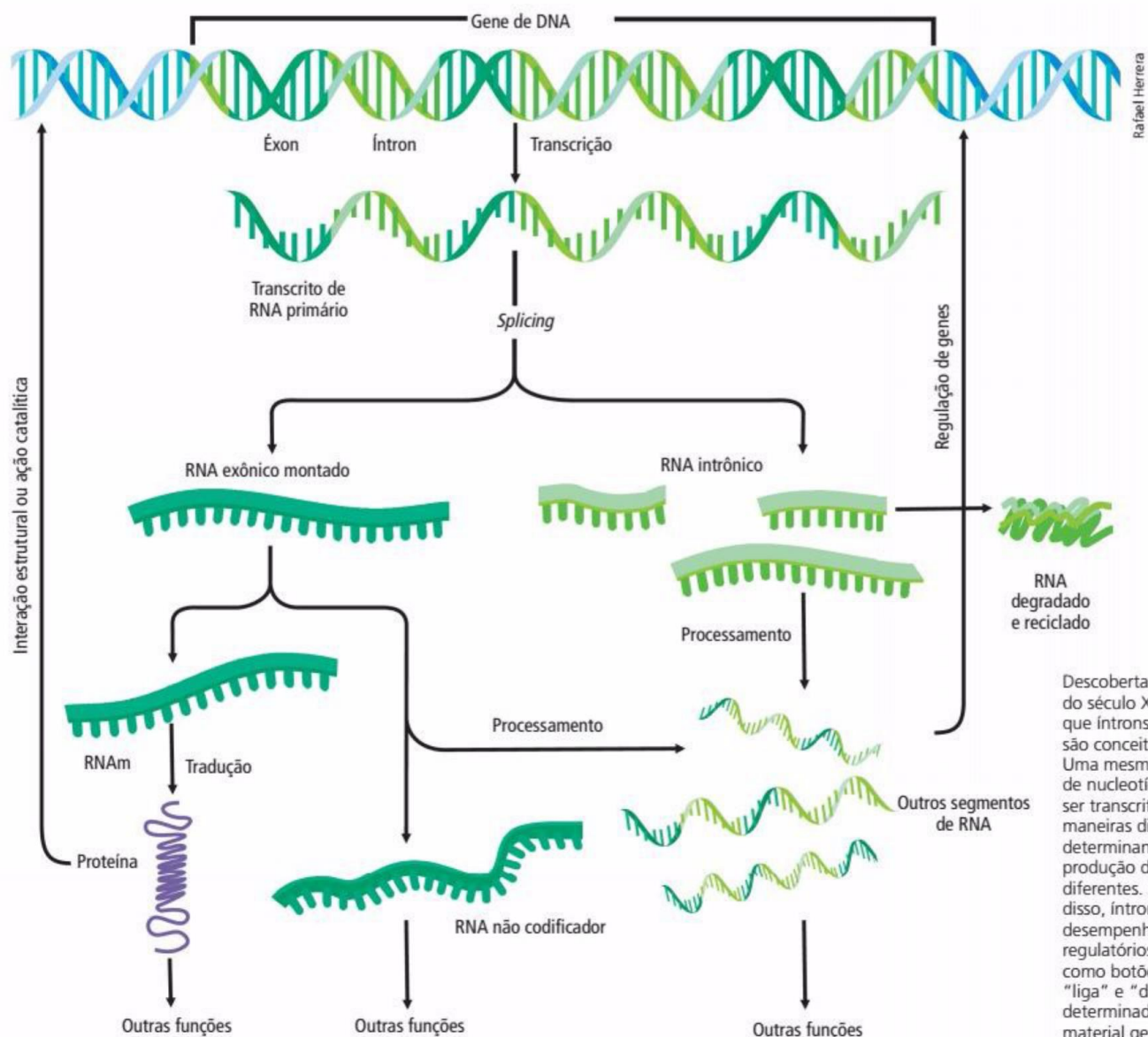
Introns, éxons e *splicing* alternativo

Durante o processo denominado *splicing* (do inglês *to splice*, emendar), grandes complexos moleculares catalíticos (os **spliceossomos**, formados por proteína e RNA) removem do pré-RNA segmentos denominados **introns** (ou **sequências intercalantes**) e reúnem os **éxons** (ou **sequências expressas**). O filamento reconstituído pela união dos éxons é o **RNA maduro** (ou **RNA funcional**), que se desloca do núcleo para o citoplasma, onde é traduzido pelos ribossomos e comanda a síntese de um polipeptídeo.

Uma descoberta recente, que contribuiu para fragilizar o conceito clássico de gene, foi o ***splicing* alternativo**. Trata-se da constatação de que o filamento de pré-RNA não é seccionado sempre nos mesmos pontos. Dessa maneira, segmentos que atuam como introns na síntese de um tipo de proteína podem se comportar como éxons em outro processo.

Como os introns e os éxons são intercambiáveis, a leitura da sequência de nucleotídeos de um gene pode começar e terminar em pontos diferentes, resultando em diferentes moléculas de RNA maduros e diferentes proteínas. Por conta do *splicing* alternativo, cada tecido pode "editar" o pré-RNA à sua maneira; assim, um mesmo gene pode determinar a produção de uma proteína em um tecido e de uma proteína diferente em outro tecido.

Como se torna evidente, o *splicing* alternativo permite que um determinado ser vivo produza uma quantidade de tipos de proteínas muito maior do que a quantidade de genes que ele possui. Os seres humanos, por exemplo, com seus 20 mil genes podem produzir mais de 140 mil tipos distintos de proteína.



Descobertas do início do século XXI mostram que introns e éxons não são conceitos absolutos. Uma mesma sequência de nucleotídeos pode ser transcrita de maneiras diferentes, determinando a produção de proteínas diferentes. Além disso, introns e éxons desempenham papéis regulatórios, agindo como botões de "liga" e "desliga" de determinados trechos do material genético.

O que fazer com o conceito de gene?

Muitos dos mecanismos recém-descobertos envolvem a atuação conjunta de DNA, RNA, proteínas e organelas, revelando profunda interação entre os diversos componentes celulares. Podemos afirmar que as descobertas das últimas décadas estão retirando do DNA a “exclusividade” sobre os mecanismos de controle da arquitetura e do funcionamento das células e dos organismos.

Podemos, todavia, continuar assumindo o gene como uma **simplificação didática** e uma ferramenta útil no estudo da Biologia Celular e da Genética, como temos feito até então. E não estamos sozinhos nessa opção: o portal oficial do Projeto Genoma Humano traz definições conservadoras. Leia:

O gene é a unidade básica da herança. Os genes são passados de pais para filhos e contêm a informação necessária para especificar características. Os genes estão dispostos, um após o outro, em estruturas chamadas cromossomos. Um cromossomo contém uma única molécula de DNA. Os seres humanos possuem cerca de 20 mil genes em seus cromossomos.

National Human Genome Research Institute. Disponível em: <<http://www.genome.gov/glossary/index.cfm?id=70>>. Acesso em: mar. 2016. (Tradução nossa.)

De acordo com essa definição, o gene é visto como a **unidade da hereditariedade** e, mais do que isso, possui estrutura, função e localização definidas.

Retornamos ao ponto de partida, com uma concepção muito parecida à de Gregor Mendel e Thomas Morgan? Retornamos ao início do século XX? Por que uma entidade cientificamente tão avançada adota um conceito sabidamente em crise? A resposta é simples: ainda não surgiu outro melhor para colocar no lugar! Os próximos anos certamente trarão novidades.

Depois da leitura dos textos, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. (Ufop-MG) Com relação à síntese de proteínas em uma célula, é incorreto afirmar:

- ☒ a) Todas as células sintetizam sempre os mesmos tipos de proteínas, nas mesmas proporções.
- b) A sequência de bases nitrogenadas ao longo da molécula de RNA mensageiro determina a sequência dos aminoácidos incorporados na cadeia polipeptídica.
- c) Para a formação da proteína, não basta a atividade do RNAm; é necessária a participação dos RNAt e dos ribossomos.
- d) Ao longo de um DNA, há segmentos que atuam diretamente na síntese de proteínas, os éxons, e os que parecem inativos nesse processo, os íntrons.

2. (Enem/MEC)

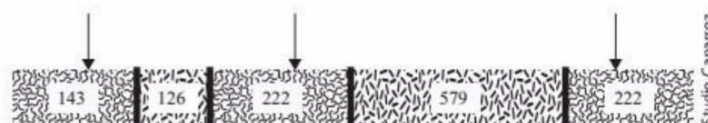
Durante muito tempo, os cientistas acreditaram que variações anatômicas entre os animais fossem consequência de diferenças significativas entre seus genomas. Entretanto, os projetos de sequenciamento de genoma revelaram o contrário. Hoje, sabe-se que 99% do genoma de um camundongo é igual ao do ser humano, apesar das notáveis diferenças entre eles. Sabe-se também que os genes ocupam apenas cerca de 1,5% do DNA e que menos de 10% dos genes codificam proteínas que atuam na construção e na definição das formas do corpo. O restante, possivelmente, constitui DNA não codificante. Como explicar, então, as diferenças fenotípicas entre as diversas espécies animais? A resposta pode estar na região não codificante do DNA.

Adaptado de: CARROLL, S. B. et al. O jogo da evolução. *Scientific American Brasil*, jun. 2008.

A região não codificante do DNA pode ser responsável pelas diferenças marcantes no fenótipo porque contém:

- a) as sequências de DNA que codificam proteínas responsáveis pela definição das formas do corpo.
- b) uma enzima que sintetiza proteínas a partir da sequência de aminoácidos que formam o gene.
- c) centenas de aminoácidos que compõem a maioria de nossas proteínas.
- ☒ d) informações que, apesar de não serem traduzidas em sequências de aminoácidos, interferem no fenótipo.
- e) os genes associados à formação de estruturas similares às de outras espécies.

3. (Fameca-SP) Um gene que é responsável pela produção de uma proteína apresenta o seguinte aspecto:

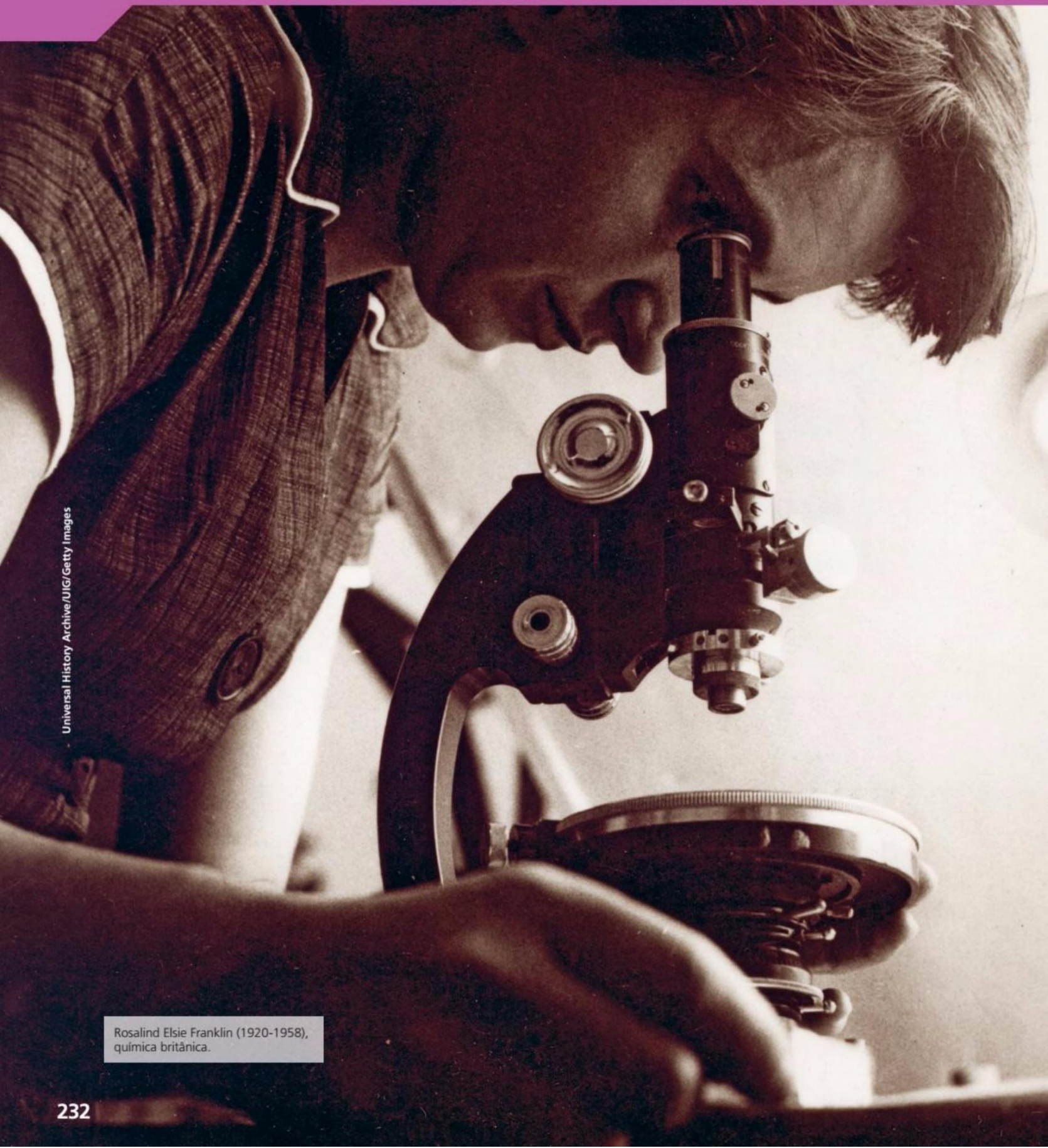


Os números representam a quantidade de nucleotídeos presentes em cada segmento. As setas indicam onde estão localizados os íntrons, que são segmentos de DNA não codificante. Ao contrário, os éxons correspondem a DNA codificante. Considerando as sequências de nucleotídeos desse segmento de DNA que participarão na produção da proteína, pergunta-se:

- a) Uma proteína produzida a partir do gene acima poderá ter, no máximo, quantos aminoácidos? Justifique.
- b) Dada uma sequência de aminoácidos de uma proteína, é possível saber a sequência de nucleotídeos do gene responsável pela produção dessa proteína? Explique.

Mendel e variações

Sexo e herança



Universal History Archive/UiG/Getty Images

Rosalind Elsie Franklin (1920-1958),
química britânica.

Mulheres na ciência

Eu espero sinceramente que, se houver uma orquestra no paraíso, as mulheres não estejam tocando o segundo violino.

Mary W. Whitney, astrônoma norte-americana (1847-1921)¹.

Hoje, é amplamente conhecido que a molécula do DNA se organiza em uma dupla hélice. Poucos sabem, porém, que as pesquisas da britânica Rosalind Franklin deram a Francis Crick, James Watson e Maurice Wilkins os elementos necessários para chegar a essa conclusão. Agraciados com o Nobel em 1962, Watson, Crick e Wilkins têm *status* de heróis e são lembrados como os pais dessa descoberta revolucionária. Rosalind morreu de câncer quatro anos antes da premiação, relegada ao papel de coadjuvante, cuja glória foi comprometida pelo pouco destaque historicamente dedicado às mulheres nas ciências.

E não foi apenas no caso DNA. Embora o astrônomo Edwin Hubble tenha se notabilizado a ponto de dar o nome a um dos mais famosos artefatos de exploração astronômica da atualidade (o telescópio espacial Hubble), as equações que permitiram a ele estimar distâncias entre as galáxias foram obtidas pela cientista norte-americana Henrietta S. Leavitt, de quem pouco se fala e que deu o nome a um obscuro asteroide.

No século XVIII, a pesquisadora alemã Caroline Herschel identificou oito cometas, mas viveu à sombra do irmão famoso, Friedrich Wilhelm, astrônomo da corte inglesa, que ficou com os méritos das descobertas. Em meados do século XVIII, o médico escocês James Lind ganhou os louros por descobrir que os frutos cítricos curam o escorbuto; todavia, meio século antes, a inglesa Ebot Mitchell já produzia soluções com extratos de plantas, suco de laranja e cerveja, com a mesma finalidade.

O teólogo cristão Tomás de Aquino (1225-1274) chegava mesmo a afirmar que as mulheres seriam intelectualmente inferiores, como "versões imperfeitas do homem". Inacreditavelmente, porém, tal preconceito ainda hoje persiste. Há poucos anos, Lawrence Summers, então presidente da Universidade de Harvard, gerou controvérsia ao declarar que supostas diferenças inatas entre os sexos explicariam por que poucas mulheres ocupam posições científicas de destaque.

Até há pouco tempo, parte do mundo acadêmico encampava essa visão. Da criação do prêmio Nobel, em 1901,

até 2015, apenas 16 mulheres foram agraciadas nas categorias de Física, Química e Medicina. A primeira a receber a distinção foi a polonesa Marie Curie, em 1903 e 1911.

Embora lentamente, isso vem mudando. Nas últimas décadas, a presença de mulheres nas universidades e centros de pesquisa está crescendo. Em 2010, pela primeira vez na história dos Estados Unidos, havia mais mulheres do que homens com doutorado. Em determinados campos de estudo (em especial Literatura, Geografia, Artes, Ciências Sociais e áreas de saúde), a presença feminina é mais forte. Homens ainda são maioria nos cursos de negócios, Matemática, Informática, Física e Engenharia.

O Brasil vive tendência similar, e nas universidades brasileiras as mulheres são a maioria desde o fim dos anos 1990. Segundo a última Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), os homens frequentam a escola por 7,0 anos, em média; as mulheres, por 7,4 anos.

A experiência da bioquímica norte-americana Gertrude Elion (1918-1999), prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1988 pelo desenvolvimento de drogas contra a leucemia, ilustra o ambiente encontrado pelas candidatas a cientistas. Gertrude começou a trabalhar no início dos anos 1930, pois precisava se manter. Retornou aos estudos algum tempo depois e graduou-se em 1939, pela Universidade de Nova York, sendo a única mulher da turma! Pretendendo ser pesquisadora, logo descobriu, no entanto, que sua única opção seria tornar-se professora. Ao pedir emprego em um laboratório, ouviu do entrevistador que ela era qualificada, mas não seria contratada porque a presença de uma mulher poderia distrair os outros pesquisadores.

Gertrude Elion costumava recomendar:

Não tenha medo de trabalhar pesado. Nada que vale a pena se consegue facilmente. Não deixe que os outros a desencorajem ou digam que você não será capaz de fazer alguma coisa. Durante quase toda a minha vida, ouvi que mulheres não poderiam seguir carreira em Química. Eu não vi nenhuma razão para isso².

¹ Apud OGILVIE, M. B. **Women in Science**. Cambridge: MIT Press, 1986. (Tradução nossa.)

² Apud AVERY, M. E. **Elion**. Hunter College – Department of Physics & Astronomy. Disponível em: <www.hunter.cuny.edu/physics/scientist/elion>. Acesso em: maio 2016. (Tradução nossa.)

Sexo e cromossomo

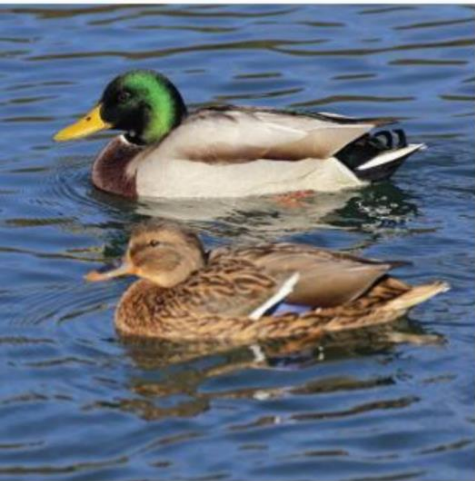


Figura 1. Dimorfismo sexual em evidência: casal de patos-reais da espécie *Anas platyrhynchos*, em que o macho é maior e mais colorido.

Nos machos de aves, a plumagem colorida, o canto elaborado e os comportamentos ao cortejar a fêmea podem parecer atributos desfavoráveis, pois chamam a atenção de predadores. No entanto, atraem as fêmeas e aumentam a chance de sucesso reprodutivo.

Ao destacar os principais pontos da teoria da evolução, Darwin diferenciou os aspectos relativos à sobrevivência daqueles referentes à reprodução; assim, evidenciou o papel da **seleção sexual**: cada indivíduo (geralmente a fêmea) pode escolher entre os “candidatos” a parceiro (**figura 1**).

Na tomada de decisão, entram em jogo aspectos morfológicos, fisiológicos e comportamentais. O macho portador de determinadas características tem vantagem reprodutiva, que determina maior chance de se reproduzir e de transmitir seu material genético para as gerações futuras. Cores exuberantes, canto vigoroso e agilidade podem ser interpretados pelas fêmeas como sinais de saúde física e genética.

Em 1891, o biólogo alemão Hermann Henking (1858-1942) percebeu que o **cariótipo** (ou conjunto cromossômico) masculino e o feminino não eram exatamente idênticos. Suspeitou que as diferenças cromossômicas pudessem estar associadas à determinação sexual.

Em 1902, o geneticista norte-americano Clarence McClung (1870-1946) notou que as fêmeas de gafanhotos possuíam 24 cromossomos nas células somáticas, mas os machos tinham apenas 23.

Em 1905, a geneticista norte-americana Nettie Maria Stevens (1861-1912) notou que a distinção entre o cariótipo masculino e o feminino, em gafanhotos, residia em um cromossomo (chamado por ela de cromossomo X) que as fêmeas apresentavam em duplicata, enquanto os machos possuíam apenas um. No mesmo ano, essa pesquisadora verificou que, em outras espécies de insetos, as fêmeas também possuíam dois cromossomos X, e os machos, somente um; no entanto, esses machos tinham outro cromossomo (denominado cromossomo Y) bem menor que o cromossomo X. Analisando espermatozoides desses insetos, Stevens verificou que a metade deles carregava o cromossomo X, e a outra metade, o cromossomo Y.

Pouco a pouco, foram desvendadas as diferenças entre os conjuntos cromossômicos masculinos e femininos de diversas espécies de animais e plantas.

Generalizando, quando se comparam os cariótipos de células diploides masculinas e femininas, um par de cromossomos (os **cromossomos sexuais**) habitualmente faz a diferença. Os outros cromossomos (denominados **autossomos**) ocorrem na mesma quantidade e na mesma forma em células masculinas e femininas.

► Sistema XY

Esse sistema é encontrado em quase todas as espécies de mamíferos (incluindo a espécie humana), em alguns invertebrados (como a mosca-das-frutas, *Drosophila melanogaster*) e em certas plantas. Além dos pares de cromossomos autossomos (22 na espécie humana), as células possuem um par de cromossomos sexuais: XX nas fêmeas e XY nos machos. O cromossomo X é muito maior que o cromossomo Y. Além da diferença de tamanho, eles diferem na composição gênica: nem todos os genes presentes no cromossomo X têm correspondentes no cromossomo Y, e vice-versa. Portanto, existem genes que são **exclusivos** de um ou de outro cromossomo sexual (**figura 2**).

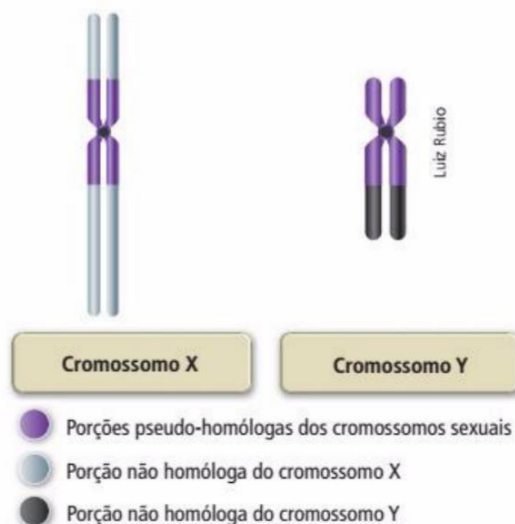


Figura 2. Representação esquemática dos cromossomos X e Y. As porções pares (ou pseudo-homólogas) dos cromossomos sexuais são aquelas em que há correspondência entre os locos gênicos; nas porções ímpares (ou não homólogas), os locos do cromossomo X não ocorrem no Y, e vice-versa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No sistema XY, o sexo masculino é **heterogamético**, isto é, em relação aos cromossomos sexuais, origina dois tipos de gametas (um tipo com o cromossomo X e outro com o cromossomo Y), enquanto o sexo feminino é **homogamético**, pois produz um só tipo de gameta, que contém o cromossomo X, mas não o cromossomo Y (**figura 3**).

Neste contexto, adotamos as expressões "sexo masculino" e "sexo feminino" como identificação cromossômica, e não como orientação sexual ou identidade de gênero.

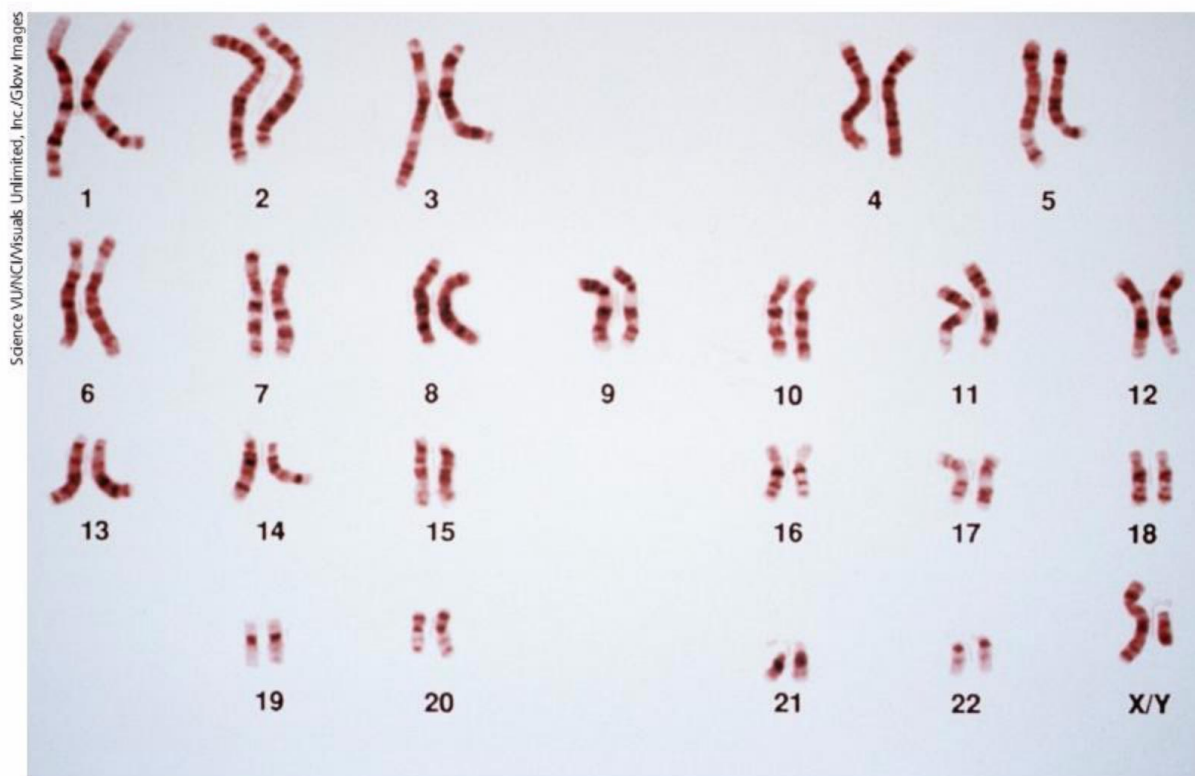


Figura 3. Cariótipo obtido de micrografia de célula humana masculina ao microscópio óptico, aumento aproximado de 2 500 vezes.

Uma mulher recebe um dos cromossomos X do pai, enquanto um homem recebe dele o cromossomo Y. Os genes localizados no cromossomo X não são transmitidos de pai para filho, mas de pai para filha. Por outro lado, os genes presentes no cromossomo Y são transmitidos de pai para filho, mas não de pai para filha (**figura 4**).

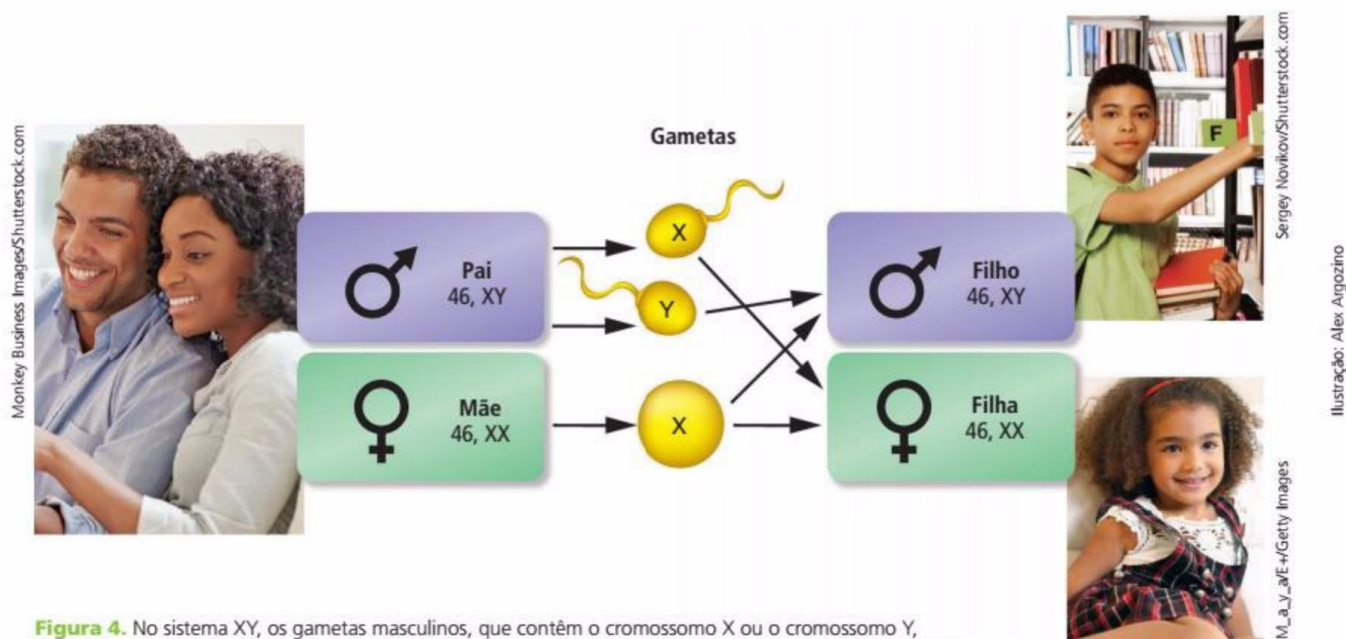


Figura 4. No sistema XY, os gametas masculinos, que contêm o cromossomo X ou o cromossomo Y, determinam o sexo dos descendentes. A representação (46, XY) e (46, XX) indicam a presença, nas células diploides, de 46 cromossomos, sendo 44 autossomos e um par XY (nos homens) ou um par XX (nas mulheres). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

▶ Henrique VIII, rei da Inglaterra de 1509 a 1547, abandonou algumas esposas, pois, segundo ele, elas foram incapazes de lhe dar um menino. Ele não sabia que seus próprios espermatozoides eram responsáveis pela determinação do sexo de seus filhos.

▶ Erros na determinação cromossômica do sexo em seres humanos

Erros durante a meiose (na formação dos gametas) ou durante a mitose (no desenvolvimento do indivíduo, a partir do zigoto) podem levar a anomalias na determinação do sexo, entre as quais se destacam:

- **Trissomia X** (47, XXX). Mulheres cujas células somáticas têm três cromossomos X, totalizando, portanto, 47 cromossomos. Podem ser normais ou, eventualmente, apresentar retardo mental. Geralmente, são férteis.
- **Síndrome de Klinefelter** (47, XXY). Homens cujas células somáticas apresentam dois cromossomos X e um cromossomo Y. Têm atrofia testicular e esterilidade, estatura geralmente acima da média, membros desproporcionalmente longos e ginecomastia (desenvolvimento das mamas).
- **Síndrome de Turner** (45, X). Mulheres cujas células somáticas possuem apenas um cromossomo X, o que as deixa com 45 cromossomos. Pode ocorrer retardo mental, baixa estatura, os caracteres sexuais secundários não se desenvolvem, e os órgãos genitais permanecem com aspecto infantil.
- **Síndrome do "duplo-Y"** (47, XYY). Homens cujas células somáticas têm um cromossomo X e dois cromossomos Y. Em geral, têm fenótipo normal e são férteis. A estatura está acima da média.

Suspeita-se que a menor incidência da síndrome de Turner em relação à da síndrome de Klinefelter esteja associada à letalidade embrionária provocada pelo cariótipo XO, que resultaria em abortos espontâneos desses embriões.

▶ Cromatina sexual

Em 1961, Mary Frances Lyon (1925-2014), geneticista inglesa, propôs uma hipótese que se tornou conhecida como hipótese de Lyon, segundo a qual um dos cromossomos X das células dos embriões femininos se condensa e se torna inativo, mesmo durante a interfase, fenômeno que ficou conhecido como **lyonização** (figura 5).

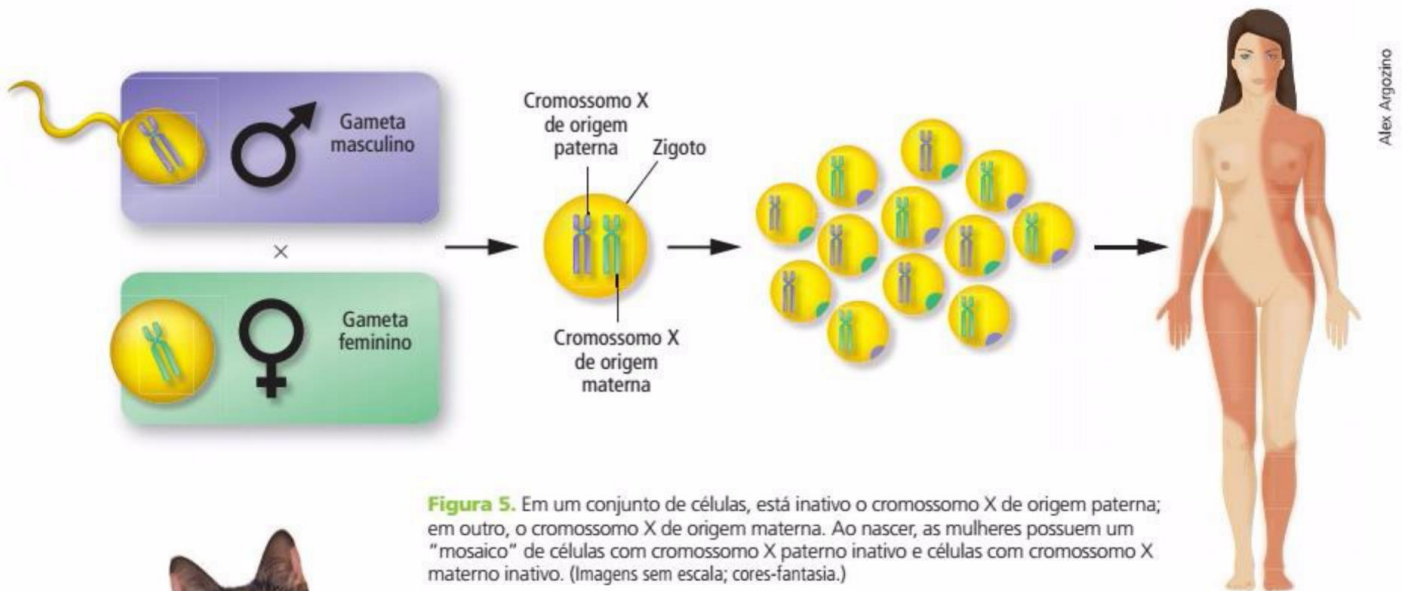
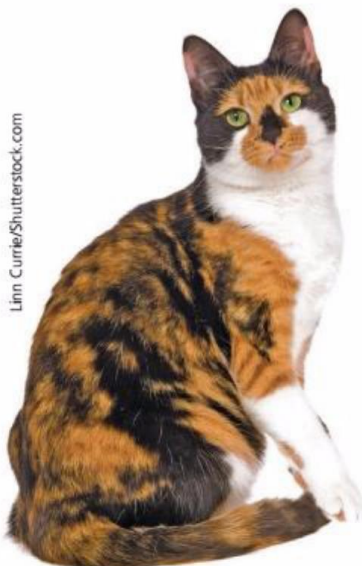


Figura 5. Em um conjunto de células, está inativo o cromossomo X de origem paterna; em outro, o cromossomo X de origem materna. Ao nascer, as mulheres possuem um "mosaico" de células com cromossomo X paterno inativo e células com cromossomo X materno inativo. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)



A expressão de algumas variações fenotípicas confirma a hipótese de Lyon. No cromossomo X de gatos, há um gene que determina o padrão da pelagem. Um alelo X^p condiciona pelagem malhada de branco e preto, enquanto o alelo X^a determina pelagem malhada de branco e amarelo. Como esses alelos estão localizados no cromossomo X, os machos apresentam o genótipo X^pY (macho malhado de branco e preto) ou o genótipo X^aY (macho malhado de branco e amarelo). Como os machos só possuem um cromossomo X, não existem machos malhados de branco, preto e amarelo. Os genótipos das fêmeas podem ser X^pX^p (fêmea malhada de branco e preto), X^pX^a (fêmea malhada de branco, preto e amarelo) ou X^aX^a (fêmea malhada de branco e amarelo). Dessa forma, a pelagem malhada de branco, preto e amarelo, conhecida como calicó ou "casco de tartaruga", só se manifesta nas fêmeas (figura 6).

Figura 6. As regiões pretas do corpo possuem um cromossomo X ativo, com o alelo X^p funcional; o outro cromossomo, com o alelo X^a , está inativo. Nas regiões amarelas, acontece o inverso: o cromossomo X ativo contém o alelo X^a e o cromossomo com o alelo X^p está inativo.

Na interfase, o cromossomo X condensado é visualizado geralmente aderido à face interna do envoltório nuclear como um grânulo denso, conhecido por **cromatina sexual** (ou corpúsculo de Barr). As células da mucosa da boca e os leucócitos são comumente usados na pesquisa da cromatina sexual.

O número de corpúsculos de Barr em uma célula diploide depende do número de cromossomos X: apenas um é ativo, enquanto os outros se inativam, formando corpúsculos de Barr (**figura 7**).



Carolina Biological Supply, Co/Visuals Unlimited, Inc./Glow Images

Figura 7. Cromatina sexual apontada pela seta, em um glóbulo branco. (Imagem de microscopia óptica, aumento aproximado de 1 800 vezes; colorida artificialmente.)

A pesquisa da cromatina sexual é realizada para confirmar o sexo cromossômico de recém-nascidos com órgãos genitais indeterminados, em casos de ambiguidade sexual ou de esterilidade. A pesquisa também é feita em casos de suspeita de fraude em competições esportivas, quando indivíduos geneticamente masculinos se fazem passar por mulheres, obtendo resultados expressivos em provas de atletismo, por exemplo. Mesmo assim, há casos controversos:

- Cariótipo XY ou cariótipo XXY. Algumas pessoas possuem células que não respondem aos estímulos dos hormônios sexuais masculinos e, mesmo com as constituições cromossômicas assinaladas, possuem fenótipo feminino.
- Cariótipo XX e genitais externos masculinizados. Mulheres com níveis anormalmente elevados de hormônios sexuais masculinos podem desenvolver musculatura compatível com a dos homens. Algumas atletas com essa condição já ganharam medalhas de ouro nos Jogos Olímpicos.
- Cariótipo XX. Como resultado de erros em meiose, algumas pessoas possuem segmentos do cromossomo Y inseridos em um de seus cromossomos X, desenvolvendo características sexuais masculinas.

Tabela 1. Relação entre cariótipos, fenótipos e corpúsculos de Barr

Cariótipos	Fenótipos	Número de corpúsculos de Barr
46, XY	Homem normal	0
46, XX	Mulher normal	1
45, X	Turner	0
47, XYY	"Duplo-Y"	0
47, XXY	Klinefelter	1
47, XXX	Trissomia X	2

A dificuldade em se encontrar uma forma de determinar o sexo biológico se deve ao fato de a Biologia, até hoje, não saber com absoluta precisão quem é homem e quem é mulher. O que deve predominar é o sexo cromossômico, o sexo fisiológico ou o sexo psicológico? Ainda não se pode responder a tais questões, embora a tendência seja de se respeitar o reconhecimento da própria identidade sexual.

Sistema X0

O sistema X0 (lê-se “xis zero”) é responsável pela determinação cromossômica do sexo em muitas espécies de insetos, particularmente das ordens dos ortópteros (gafanhotos), dos odonatas (libélulas) e dos hemípteros (percevejos). As células somáticas dos machos possuem dois conjuntos de autossomos e apenas um cromossomo sexual X, enquanto as células somáticas das fêmeas têm dois conjuntos de autossomos e dois cromossomos X. A designação X0 indica a ausência de um dos cromossomos sexuais (**figura 8a**).

Sistema ZW

Em aves e em alguns grupos de insetos (coleópteros, como os besouros, e lepidópteros, como as borboletas), as células somáticas dos machos possuem dois conjuntos de autossomos e um par de cromossomos sexuais iguais, chamados cromossomos Z; as fêmeas têm dois conjuntos de autossomos e um par de cromossomos sexuais ZW (**figura 8b**).

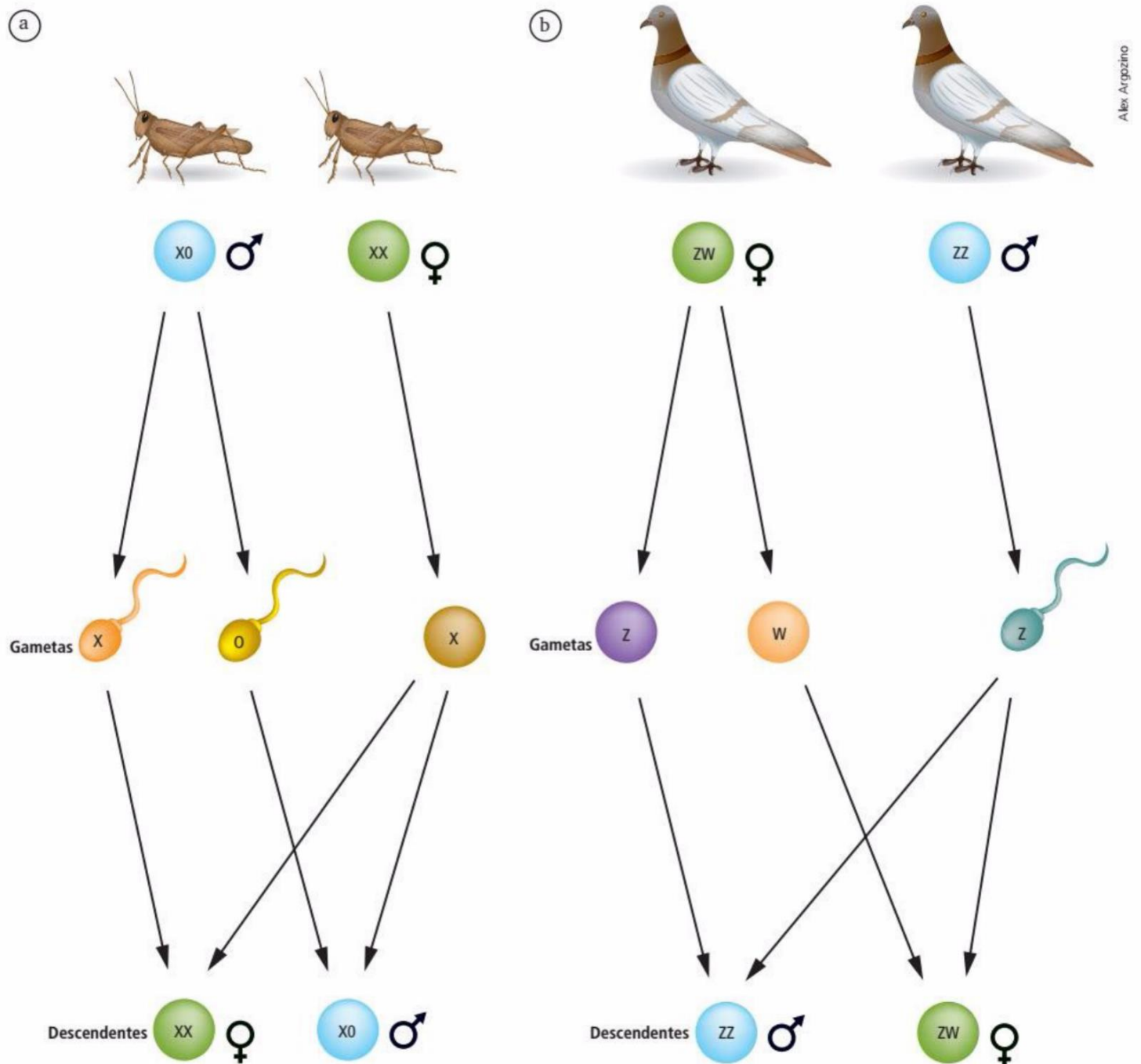


Figura 8. (a) No sistema X0, o sexo heterogamético é o masculino, e os espermatozoides determinam o sexo dos descendentes. As fêmeas são homogaméticas. (b) Por outro lado, no sistema ZW, as fêmeas são heterogaméticas, e os gametas femininos determinam o sexo dos descendentes. Os machos são homogaméticos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

► Determinação sexual em abelhas

Em abelhas e em outros himenópteros (insetos da ordem Hymenoptera), as células somáticas das fêmeas são diploides, enquanto as células somáticas dos machos (zangões) são haploides. Em abelhas europeias (espécie *Apis mellifera*), as fêmeas apresentam 32 cromossomos; os machos, apenas 16 cromossomos. Óvulos fecundados dão origem a zigotos diploides, que se desenvolvem em fêmeas; óvulos não fecundados são haploides e originam machos (figura 9).

► A formação de um indivíduo a partir de um óvulo não fecundado chama-se **partenogênese**.

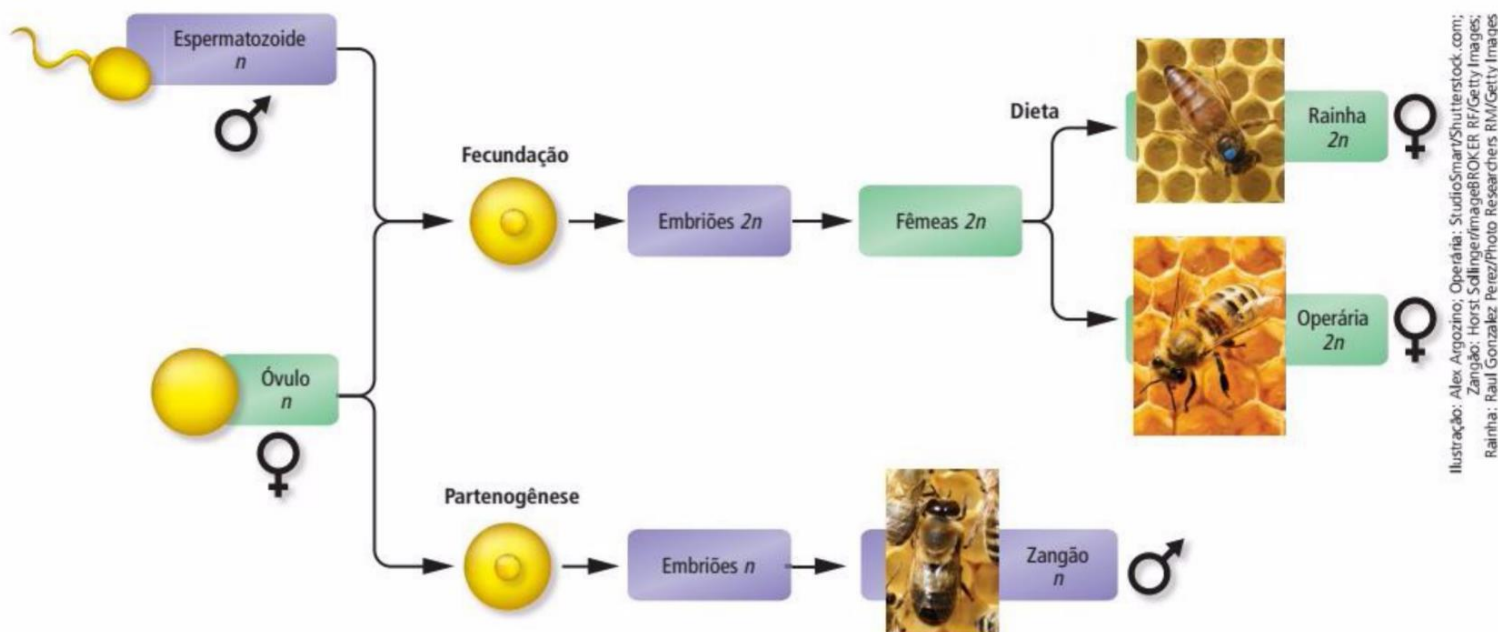


Figura 9. Determinação sexual em abelhas. (Rainha: 2 cm de comprimento. Operária: 1,5 cm de comprimento. Zangão: 1,8 cm de comprimento). Os machos são partenogênicos. A diferenciação dos embriões diploides (femininos) em rainhas ou operárias resulta do tipo de dieta oferecida (larvas que se tornarão rainhas recebem a geleia real, uma secreção produzida pelas operárias). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Sexo e herança

► Herança ligada ao sexo

Como os cromossomos sexuais são diferentes entre machos e fêmeas, os genes neles localizados têm comportamento diferente do apresentado pelos genes autossômicos, determinando diversos padrões de herança.

► Na espécie humana, já foram identificadas mais de 200 características condicionadas por genes da porção não homóloga do cromossomo X, entre as quais alguns tipos de cegueira, uma forma de retardo mental, um defeito cardíaco congênito, daltonismo, hemofilia e casos de surdez congênita.

A **herança ligada ao sexo** (ou **ligada ao cromossomo X**) refere-se a características condicionadas por genes da porção não homóloga do cromossomo X. Como os machos só têm um cromossomo X, não são homozigotos nem heterozigotos, e sim hemizigotos, pois apresentam apenas um desses alelos.

Pistas para reconhecer uma característica recessiva ligada ao sexo:

- Mulheres afetadas são raras ou inexistentes.
- Homens afetados são filhos de homens normais.
- Em uma descendência, a proporção de filhos afetados é diferente da proporção de filhas afetadas.
- Casal formado por homem afetado e mulher normal tem descendência diferente daquela de casal formado por homem normal e mulher afetada.

Hemofilia

Sabe-se que aproximadamente 25% dos casos de hemofilia em meninos são decorrentes de mutação nova, isto é, a doença se manifesta em meninos que não têm história familiar da doença.

Há quase dois milênios, os judeus já suspeitavam que a transmissão da hemofilia se fazia de mãe para filhos. Entre os judeus, é prática milenar a circuncisão, que consiste na remoção de parte do prepúcio, a dobra de pele que recobre a glândula do pênis. Porém, desde o século II d.C., os meninos judeus nascidos de mulheres em cuja família há algum caso de hemofilia não são circuncidados, embora esse mesmo cuidado não seja dispensado aos meninos cujos pais têm a história familiar da doença.

A hemofilia é uma doença hereditária que altera o mecanismo normal de estancamento das hemorragias. A coagulação do sangue é uma sequência de reações em cadeia: se uma das etapas não ocorre, todo o processo é bloqueado, e a coagulação não acontece. Os indivíduos com hemofilia A (o tipo mais comum da doença) são deficientes de fator VIII, um dos produtos intermediários das reações da coagulação.

A hemofilia é condicionada por um alelo recessivo, representado por X^h , localizado na porção não homóloga do cromossomo X; o alelo dominante, indicado por X^H , determina a produção de quantidade normal do fator VIII.

As mulheres de genótipo $X^H X^h$ são normais, embora portadoras do alelo para a hemofilia. Como esse alelo está localizado no cromossomo X, é de 50% a probabilidade de que seja transmitido pelas mulheres portadoras a seus descendentes, meninos ou meninas. Os homens hemofílicos transmitem o alelo apenas para as filhas; para os filhos, transmitem o cromossomo Y (figura 10).

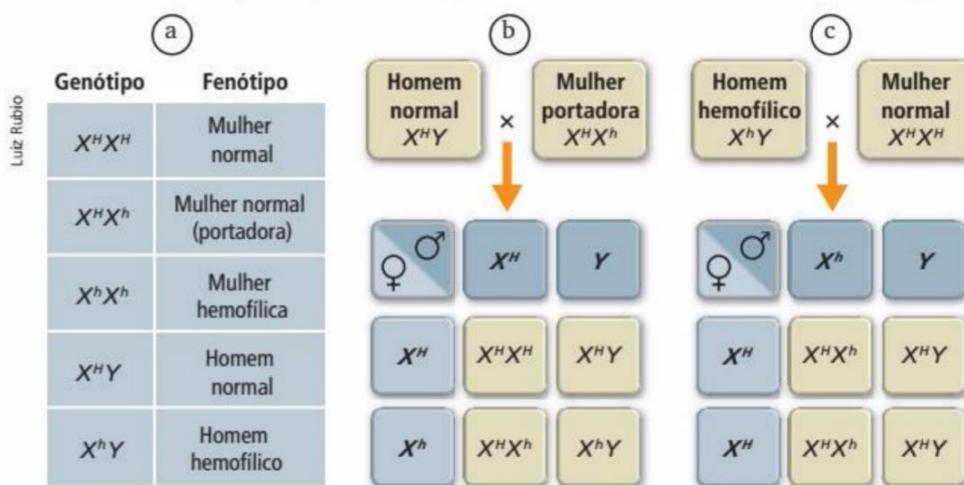


Figura 10. (a) Possíveis genótipos e fenótipos para a hemofilia. (b) Uma mulher portadora do alelo da hemofilia pode transmiti-lo para seus descendentes. As filhas que receberem o alelo X^h serão portadoras; os filhos serão hemofílicos. (c) Um homem hemofílico transmite esse alelo para todas as filhas (que serão portadoras) e para nenhum dos filhos (todos normais).

A incidência da hemofilia, que é uma doença relativamente rara, é de aproximadamente um caso em cada 20 mil pessoas. Mulheres hemofílicas são muito mais raras, o que se explica pela necessidade da presença do alelo X^h em duplicata, pois elas têm dois cromossomos X. A estimativa é que haja uma mulher hemofílica em cada 400 milhões de pessoas.

Daltonismo

O daltonismo, que é determinado por um alelo recessivo da porção não homóloga do cromossomo X, caracteriza-se pela dificuldade na percepção de determinadas cores primárias, como o verde e o vermelho, o que repercute na percepção das demais cores do espectro.

O distúrbio recebeu esse nome em homenagem ao químico John Dalton, que foi o primeiro cientista a estudar a anomalia pela qual ele mesmo era afetado (figura 11).

O diagnóstico do daltonismo pode ser confirmado pelo **teste de Ishihara**, que utiliza pranchas coloridas: uma figura, normalmente um algarismo, é desenhada em um cartão contendo um grande número de pontos com tonalidades que variam ligeiramente entre si, de modo que possa ser identificada apenas por uma pessoa com visão normal para cores (figura 12).



Figura 11. Os daltônicos podem ter o dia a dia dificultado por não distinguirem, principalmente, o vermelho e o verde.

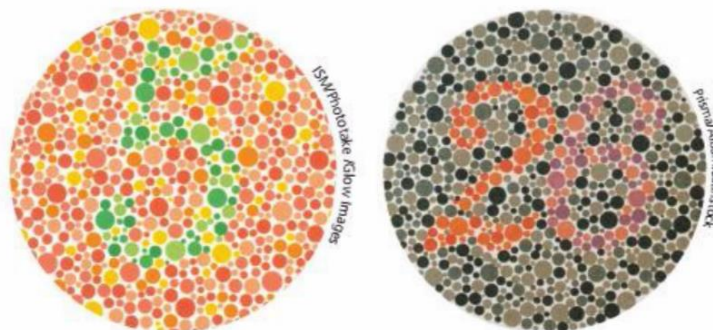


Figura 12. Teste de Ishihara: na prancha da esquerda, pessoas que não são daltônicas leem o número 5; na da direita, o número 26.

A herança do daltonismo é semelhante à da hemofilia: um alelo recessivo X^d da porção não homóloga do cromossomo X, estando presente em dose dupla nas mulheres, determina o daltonismo; nos homens, basta um alelo X^d para que o daltonismo se manifeste (**tabela 2**).

O número de homens daltônicos é superior ao de mulheres daltônicas na população geral, pelo mesmo motivo exposto para a hemofilia. Entretanto, encontrar mulheres daltônicas não é muito raro: em média, há um homem daltônico em cada 15 homens e uma mulher daltônica em cada 225 mulheres.

Tabela 2. Possíveis genótipos e fenótipos para o daltonismo

Genótipo	Fenótipo
$X^D X^D$	Mulher normal
$X^D X^d$	Mulher normal (portadora)
$X^d X^d$	Mulher daltônica
$X^D Y$	Homem normal
$X^d Y$	Homem daltônico

► Distrofia muscular de Duchenne (DMD)

Trata-se de uma condição rara, determinada por um alelo recessivo ligado ao cromossomo X, em que ocorrem degeneração gradual da musculatura estriada e paralisia incapacitante, já avançada por volta dos 12 anos de idade, impedindo a pessoa de andar. Habitualmente, há lesão do miocárdio, e a morte acontece por insuficiência cardíaca em mais de 75% dos casos (**figura 13**).

É raro uma pessoa com DMD sobreviver além dos 20 anos ou 25 anos de idade. Mulheres portadoras apresentam discreta lesão muscular, geralmente sem manifestações clínicas. Como a doença é resistente ao tratamento (a terapia gênica está em fase experimental), o aconselhamento genético é de grande importância.

► Herança restrita ao sexo

A **herança restrita ao sexo** ou **ligada ao cromossomo Y** refere-se a características determinadas por **genes holândricos**, que são aqueles localizados na porção do cromossomo Y que não tem correspondência no cromossomo X, o que significa que não estão presentes nas mulheres. Um exemplo de herança ligada ao cromossomo Y é a diferenciação do testículo nos embriões de mamíferos, desencadeada pelo gene holândrico denominado SRY.

► Herança influenciada pelo sexo

Em sua forma clássica, a calvície é determinada por um alelo autossômico cuja dominância depende do sexo: nos homens, comporta-se como dominante; nas mulheres, como recessivo. Considera-se que o alelo C^1 determina a calvície, enquanto o alelo C^2 condiciona fenótipo normal (**tabela 3**).

Tabela 3. Possíveis genótipos para a calvície

Genótipos	Homem	Mulher
$C^1 C^1$	Calvo	Calva
$C^1 C^2$	Calvo	Normal
$C^2 C^2$	Normal	Normal

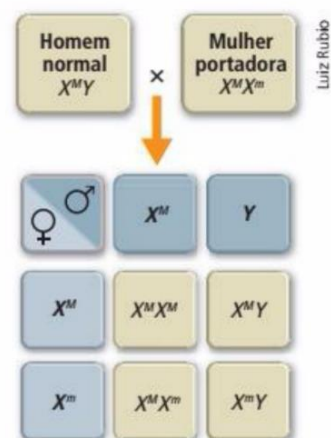


Figura 13. Descendência esperada de um casal em que o homem é normal e a mulher é portadora do alelo causador da distrofia muscular.

Quanto aos alelos da porção não homóloga do cromossomo X, os quais não têm correspondentes no cromossomo Y, os homens são hemizigotos.

Homens homozigotos para calvície ou heterozigotos apresentam calvície depois de certa idade, e as mulheres heterozigotas são normais. Mulheres homozigotas para calvície manifestam a calvície em graus variados, mas não de forma tão pronunciada como nos homens (figura 14).

Figura 14.

(a) Homem calvo homozigoto;
(b) homem calvo heterozigoto.



Joiner Images/Getty Images

Konstantin Sutyagin/Shutterstock.com

Herança limitada ao sexo

Apesar de presentes em ambos os sexos, alguns genes autossômicos manifestam-se apenas em um deles. Fatores anatômicos e hormonais fazem certas manifestações fenotípicas ocorrerem naturalmente apenas em indivíduos de um dos sexos.

Estudos recentes sugerem que, na espécie humana, o alelo que provoca a hipertricose auricular (presença de pelos longos nas orelhas do homem) é um exemplo de gene com expressão limitada ao sexo (figura 15). Até há pouco tempo, pensava-se que esse alelo fosse holandrico, ou seja, localizado no cromossomo Y.

Uma importante característica do gado bovino da raça holandesa é a grande produção de leite, mas o patrimônio hereditário que determina essa característica está presente também nos machos. Um touro da raça holandesa, por exemplo, transmite para as descendentes os alelos que garantem boa produtividade leiteira, que nele não se manifestam.



Figura 15. A hipertricose auricular é um exemplo de herança limitada ao sexo.

A notícia

Simone de Beauvoir e a imbecilidade sem limites [...]

A filósofa francesa realizou um estudo sério; se for pra criticar, ao menos façam comentários sérios e embasados, sem impedir ou rebaixar a reflexão

[...]

Para quem estuda a obra de Simone de Beauvoir como eu, foi uma alegria ver uma questão sobre sua obra numa prova de alcance nacional [Enem 2015].

Beauvoir foi uma intelectual importante que, ao lançar **O Segundo Sexo** em 1949, colocou a mulher no centro do debate e rompeu com uma tradição filosófica que a mantinha invisível ou vista a partir do olhar do outro.

Quando lançou a obra, Beauvoir não se entendia como feminista ainda, nesse estudo em específico pensa a categoria de gênero por uma perspectiva existencialista e, como afirma Margaret Simons, uma das maiores especialistas em Beauvoir, posteriormente a obra adquire um caráter fundamentalmente político.

Estudar Simone de Beauvoir é de suma importância por conta de suas grandes contribuições filosóficas. [...]

O que Beauvoir quis dizer com a frase “Não se nasce mulher, torna-se” não é de difícil entendimento. Explico: ao dizer que “não se nasce mulher, torna-se”, a filósofa francesa distingue entre a construção do “gênero” e o “sexo dado” e mostra que não seria possível atribuir às mulheres certos valores e comportamentos sociais como biologicamente determinados. Simples, não é? E faz todo sentido, o ser mulher se impõe; há uma imposição social de como as mulheres devem se comportar.

[...]

RIBEIRO, D. **Carta Capital**, 3 nov. 2015. Disponível em: <www.cartacapital.com.br/sociedade/simone-de-beauvoir-e-a-imbecilidade-sem-limites-de-feliciano-e-gentili-6444.html>. Acesso em: mar. 2016.

Ninguém nasce mulher: torna-se mulher. Nenhum destino biológico, psíquico, econômico define a forma que a fêmea humana assume no seio da sociedade [...].

BEAUVOIR, S. **O segundo sexo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2009.

Atividade

Escreva
no caderno

Existe certa tensão — ou mesmo uma contradição latente — entre a afirmativa de Simone de Beauvoir e o que se sabe a respeito da determinação cromossômica do sexo na espécie humana. É correto afirmar que Beauvoir nega o papel da genética na expressão do gênero?

1. (UFF-RJ) Um geneticista, adotando o mesmo critério utilizado para a montagem de cariótipo da espécie humana, montou o cariótipo de certa espécie animal desconhecida, conseguindo formar dez pares de cromossomos, restando, além desses, dois cromossomos de tamanhos distintos. Considere o padrão de determinação de sexo, nessa espécie desconhecida, igual ao padrão humano:
 - a) Quantos cromossomos existem, respectivamente, nos óvulos, nos espermatozoides e nas células musculares dessa espécie animal?
 - b) Qual é o sexo a que pertence o animal da espécie em questão? Justifique sua resposta.
2. (UFRJ) Fazendeiros que criam gado leiteiro podem, atualmente, determinar o sexo dos embriões logo após a fertilização, usando um kit que determina a presença do cromossomo Y. Se o embrião for uma fêmea, é reimplantado no útero da vaca. Caso contrário, ele é eliminado ou congelado para uso futuro.
 - a) Para esses fazendeiros, qual a vantagem dessa prévia determinação do sexo dos embriões?
 - b) Por que o kit pesquisa somente a presença do cromossomo Y?
3. (Vunesp-SP) A análise de núcleos interfásicos de células da mucosa oral de uma mulher fenotipicamente normal revelou, em todos eles, a existência de duas cromatinas sexuais.
 - a) Quantos cromossomos X tem essa mulher?
 - b) Se ela se casar com um homem normal, qual é a probabilidade de ter uma criança com a constituição cromossômica igual à sua?
4. A hemofilia é uma doença hereditária ligada ao cromossomo X que altera o mecanismo normal de estancamento das hemorragias. A incidência dessa doença é relativamente rara, estimando-se que seja de aproximadamente um caso em cada 20 mil pessoas.

Hemobrás/Ministério da Saúde

Como tratar a Hemofilia?

O tratamento é feito com a reposição intravenosa (pela veia) do fator deficiente.

Existem dois tipos de Hemofilia:

Hemofilia A - É a mais comum, representando 80% dos casos. Ocorre pela deficiência do Fator VIII (FVIII).

Hemofilia B - Ocorre em função da deficiência do Fator IX (FIX).

A Hemobrás trabalha para viabilizar a produção de medicamentos essenciais à vida de milhares de pessoas com hemofilia.

Complexo protrombínico (conjunto de proteínas que atuam na coagulação sanguínea)

Fator VIII (coagulante utilizado no tratamento de pessoas com hemofilia A)

Fator IX (coagulante utilizado no tratamento de pessoas com hemofilia B)

17 de Abril, Dia Internacional da Hemofilia

Hemobrás **SUS** **Ministério da Saúde** **GOVERNO FEDERAL** **BRASIL** PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

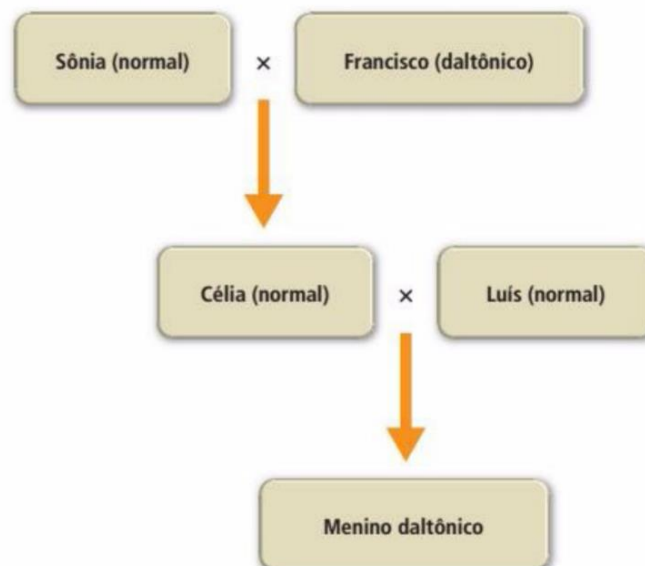
- a) A hemofilia é uma doença condicionada por alelo dominante ou recessivo?
- b) Quais os genótipos de uma mulher normal portadora do gene para hemofilia e de um homem hemofílico, respectivamente?

c) Explique por que a incidência da hemofilia é muito rara em mulheres.

d) Um casal normal para hemofilia gerou quatro crianças: duas normais e duas hemofílicas. De acordo com as informações apresentadas, pode-se afirmar, com certeza, que as crianças hemofílicas são de qual sexo? Justifique sua resposta.

5. (UERJ) Em estudos que vêm sendo realizados em torno da variabilidade genética em populações, as avaliações sobre o DNA mitocondrial (mtDNA) e os marcadores do cromossomo Y fornecem valiosas indicações a respeito dos padrões históricos de acasalamento. Explique por que, na espécie humana:
 - a) as informações hereditárias contidas no cromossomo Y são transmitidas exclusivamente pelo ancestral paterno.
 - b) as mitocôndrias do zigoto são todas originárias do ancestral materno.

6. Sônia, mulher de visão normal, é casada com Francisco, homem daltônico. Célia, filha do casal, é normal, mas, ao se casar com Luís, também normal, teve um filho daltônico.

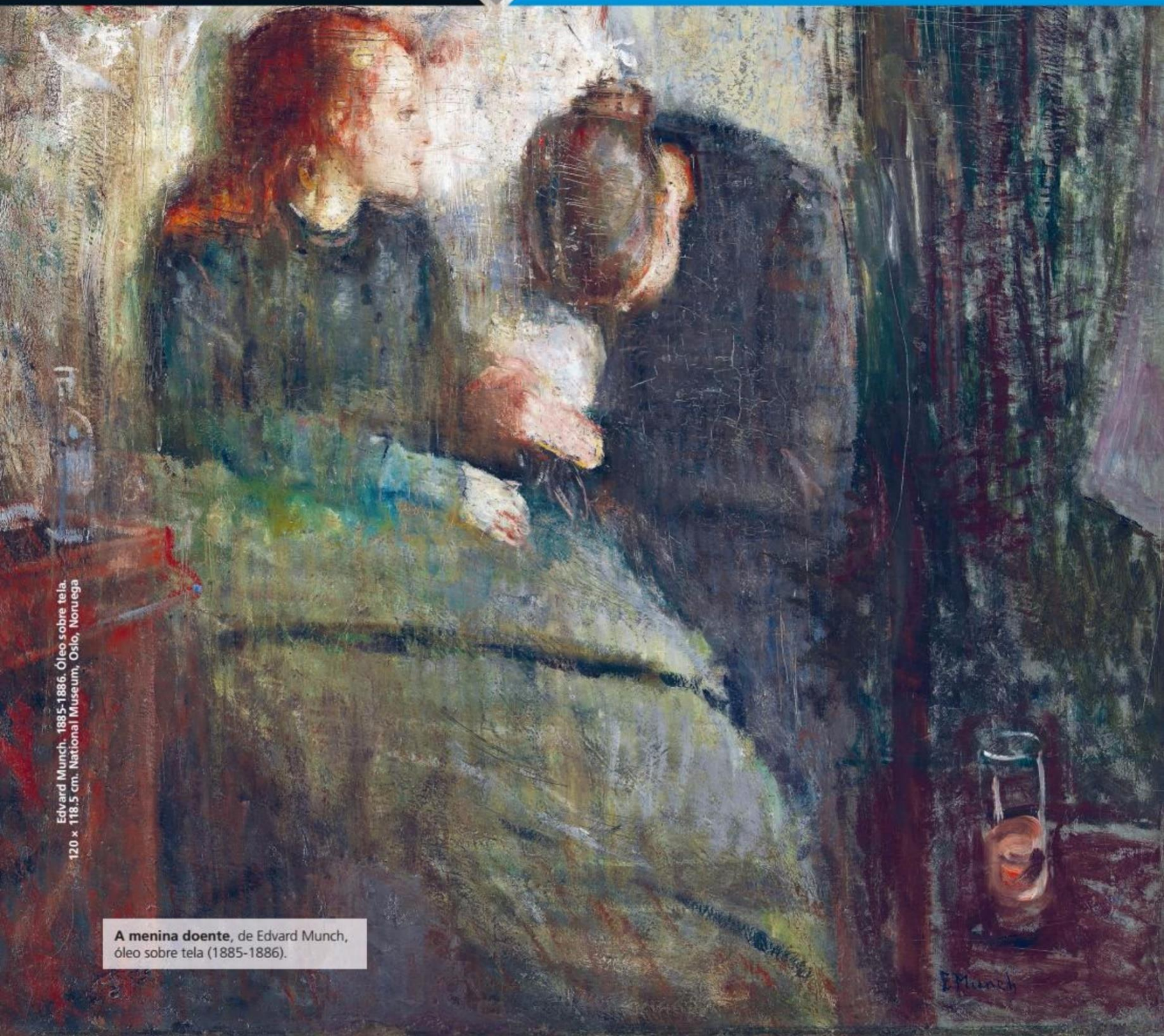


- a) Determine os genótipos das pessoas citadas.
- b) Qual é a probabilidade de Célia e Luís terem um filho normal?

7. (UFRJ) A cor do pelo dos gatos depende de um par de genes alelos situados no cromossomo X. Um deles é responsável pela cor preta, e o outro pela cor amarela. Existe um terceiro gene autossômico (não localizado nos cromossomos sexuais) que é responsável pela cor branca. Com essas informações, explique por que o pelo de uma gata pode ter três cores, enquanto o pelo de um gato só pode ter duas cores.

8. (UFJF-MG) Luís é calvo e casou-se com Regina, de cabelos normal. Ricardo, o filho mais velho do casal, não apresenta sinais de calvície. Paulo, o outro filho, começou a ter queda acentuada de cabelos, tornando-se calvo na juventude. Marina, a filha mais nova, também já manifesta a calvície.

- a) Quais são os genótipos dessas pessoas?
- b) Quando Marina se casar, que porcentagem de seus filhos do sexo masculino deverá apresentar calvície?



Edvard Munch, 1885-1886. Óleo sobre tela.
120 x 118,5 cm. National Museum, Oslo, Noruega

A menina doente, de Edvard Munch,
óleo sobre tela (1885-1886).

Diferenças além do óbvio

Na série de pinturas intitulada **A menina doente**, o pintor norueguês Edvard Munch (1863-1944) retratou os últimos dias de sua irmã mais velha Sophie, que morreu vítima de tuberculose.

No mundo todo, a tuberculose ocorre com maior frequência em homens que em mulheres. Como em muitos povos os homens são os principais provedores na família, suspeita-se que estejam mais expostos à bactéria causadora (*Mycobacterium tuberculosis*) nos ambientes extradomiciliares, o que explicaria a maior incidência da infecção; entretanto, as mulheres são mais propensas a desenvolver as formas mais graves da doença¹.

¹ BELO, M. T. C. T. et al. Tuberculose e gênero em um município prioritário do Estado do Rio de Janeiro. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, vol. 36, n. 5, São Paulo, 2010.

Quando se comparam as causas de morte entre brasileiros e brasileiras, as estatísticas revelam números eloquentes. A mortalidade por câncer de pulmão ou por câncer de estômago entre os homens é quase o dobro da mortalidade entre as mulheres; por câncer de esôfago, é três vezes maior. Já a mortalidade por diabetes melito é maior entre as mulheres¹. Como se explicam essas estatísticas?

Praticamente todos os órgãos e sistemas têm anatomia e funcionamento que variam entre os gêneros, e as diferenças biológicas entre homens e mulheres vão muito além do óbvio. Mulheres são mais sensíveis à dor e aos odores, são em média 15 centímetros mais baixas e têm a pele mais fina e seca; homens têm mais massa óssea e muscular e menor porcentagem de gordura corporal. Essas distinções operam em efeito dominó, e uma pequena diferença pode ter consequências substanciais para a qualidade de vida do portador. Por exemplo: como a pélvis das mulheres é mais aberta, adaptada à passagem do feto durante o parto, as pernas formam ângulo compatível com essa abertura; em consequência, as mulheres tendem a ser menos eficientes na corrida, e seus joelhos são mais propensos a lesões. Não por acaso, as melhores corredoras costumam ter quadris menores do que a média das mulheres.

Homens e mulheres também diferem quanto à incidência e à evolução de doenças. Elas são mais propensas à osteoporose, ao Alzheimer, a algumas moléstias sexualmente transmissíveis (como o HPV), à esclerose múltipla, à artrite reumatoide e a outras doenças autoimunes. Entre eles, por sua vez, é maior a incidência de calvície, autismo, dislexia, câncer, doenças cardíacas e acidentes vasculares cerebrais, além de carregarem as maiores estatísticas de mortes violentas (em acidentes de trânsito ou por armas de fogo, por exemplo). O relatório **Breve análise da mortalidade nos períodos 2012-2013**² assinala: "Pode-se observar também a maior mortalidade masculina no grupo de adultos jovens, neste caso, de 15 a 29 anos aproximadamente, em relação à população feminina [...]. Este fenômeno pode ser explicado pela maior incidência dos óbitos por causas violentas, que atingem com maior intensidade a população masculina."

Mesmo com tantas evidências, até há pouco tempo a medicina praticamente ignorava essas disparidades. Historicamente, os pesquisadores usaram preferencialmente cobaias masculinas, fossem humanas ou não. Por isso, há muitas lacunas de conhecimento sobre a forma como as doenças se manifestam nas mulheres. Muitos médicos não se dão conta, por exemplo, de que os sintomas e a evolução das doenças cardíacas diferem muito entre homens e mulheres. A obstrução dos vasos sanguíneos que irrigam o coração ocorre nas mulheres, em média, uma década mais tarde do que nos homens; por outro lado, elas têm duas vezes mais chances de morrer nos 60 dias que se seguem a um ataque cardíaco, além de terem maior probabilidade de sofrer um segundo ataque. Mais importante: quando sofrem um ataque cardíaco, os homens costumam se queixar de dores no peito, enquanto as mulheres descrevem sintomas similares aos de indigestão, além de cansaço e dor em outras partes do corpo. Como esses sintomas não são habitualmente associados a problemas cardíacos, equipes de emergência demoram mais a reagir quando atendem mulheres. Daí a maior taxa de mortalidade imediata em pacientes do sexo feminino.

Até que a medicina incorpore a noção de que as diferenças entre os dois gêneros justificam a adoção de diagnósticos e tratamentos diferenciados, metade da população mundial terá de ser tratada com base em conhecimentos distantes de sua realidade.

¹ **Informações de Saúde (TABNET)**. DATASUS, Ministério da Saúde. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/tabdata/livroidb/2ed/CapituloC.pdf>>. Acesso em: abr. 2016.

² **Tábua completa de mortalidade para o Brasil**. Brasília: IBGE, 2013.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. De acordo com o texto, as diferenças entre homens e mulheres são resultado apenas de condicionantes socioculturais? Cite trechos que justifiquem sua resposta.
2. De acordo com o texto, por que as equipes de emergência nem sempre atendem adequadamente mulheres que sofrem um ataque cardíaco?
3. Nos portais do Ministério da Saúde (disponível em: <<http://tub.im/zt8mg9>>; acesso em: abr. 2016) e do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (disponível em: <www.tub.im/kdp2qw>; acesso em: abr. 2016), pesquise e localize dados referentes à mortalidade por sexo.

- a) Identifique, nas informações correspondentes a seu estado, causas de mortalidade que tenham valores discrepantes entre homens e mulheres.
- b) Escolha uma dessas causas e elabore uma hipótese que explique a diferença observada.

Variabilidade e adaptação

Bases genéticas da evolução

Nick Paoleologos/SOOC/AFP

Votava Press Photo/AFP



Escapando da barbárie, sírios caminham por ferrovia na fronteira entre a Sérvia e a Hungria, país que deu demonstrações explícitas de racismo e xenofobia durante a crise dos refugiados que abalou a Europa, em 2015. Pelo menos uma parte da população húngara arrancou da memória páginas da própria história: em 1956, escapando da ocupação soviética, milhares de húngaros fugiram para a Áustria (no detalhe) e para a antiga Iugoslávia.

Pelas fronteiras do mundo

Tornou-se emblemático apontar os tênis de conhecidas marcas multinacionais como símbolos da internacionalização da economia: desenhados em um país, confeccionados em outro com insumos provenientes de um terceiro, são comercializados no mundo todo.

A porosidade das fronteiras nacionais evidencia-se também por outros fenômenos de dimensão planetária, como a chuva ácida, o aquecimento global e a rarefação da camada de ozônio.

A mesma globalização que concentra riquezas dispersa gente. Pelas fronteiras abertas ao capital, passa quem busca trabalho, passam soldados, pessoas que fazem negócios ou cujo emprego impõe deslocamentos frequentes (como pilotos e comissários de bordo, executivos e vendedores). Passam, ainda, pessoas que fogem de desastres naturais, guerras civis e conflitos étnicos e religiosos.

Na primeira metade da década de 2010, começou a chegar à Europa o maior fluxo de pessoas jamais visto desde o final da Segunda Guerra Mundial. A onda de desesperados e despossuídos começou a saltar as muralhas da União Europeia, arrastando pessoas do Oriente Médio e da África, que arriscam as vidas no caminho. A imagem que se tornou símbolo da tragédia mostrou Aylan Kurdi, o menino sírio que morreu afogado (assim como a mãe e um irmão) quando a família tentava chegar à Grécia a partir da Turquia. As fotos do corpo inerte na praia turca escancararam para o mundo o drama humanitário dos refugiados: de um lado do Mediterrâneo, a Europa da abundância e da estabilidade; de outro, uma extensa faixa – que vai do norte da África ao Oriente Médio – marcada por pobreza e conflitos intermináveis. Com o agravamento de guerras civis em seus países, puseram-se em marcha os refugiados da Síria, do Iraque e do Afeganistão, seguidos por migrantes econômicos da África e de outras partes da Ásia.

Nesse cenário, os países da Europa Centro-Oriental passaram a ecoar a xenofobia da extrema-direita, impondo barreiras aos refugiados. Tal como o antigo Império Romano, a narrativa xenófoba mostrou uma Europa sob a ameaça de “invasões bárbaras”. Os discursos, que não se restringem aos já tradicionais partidos da extrema-direita, chegam a alguns governos – particularmente ao da Hungria – que enxergam a necessidade de defender a “Europa cristã”, associando genericamente os imigrantes (principalmente muçulmanos) à marginalidade e ao terrorismo.

Hoje, as análises demográficas mostram uma Europa senescente, com países nos quais a taxa de mortalidade supera a de natalidade. O envelhecimento populacional e a queda da população economicamente ativa reduzem a produtividade da economia e pressionam os sistemas de previdência. Por isso, a Europa precisa de jovens; dito de outra forma, a Europa precisa dos imigrantes. Em contrapartida, os países de onde saem esses fluxos migratórios veem partir seus jovens, que deixam para trás uma população na qual aumenta a proporção de crianças e idosos. Dessa forma, transfere-se aos países já mais pobres o ônus da redução da atividade econômica e a perda da capacidade de gerar e distribuir riqueza.

No cenário mundial de turbulência, o Brasil das últimas décadas mostrou relativa estabilidade política, econômica e social; por isso, tornou-se polo de atração de migrantes. Ao mesmo tempo em que é procurado por europeus com diploma de curso superior, atrai pessoas pobres e com pouca escolaridade – por exemplo, de países africanos e asiáticos, do Haiti e de outros países latino-americanos.

Em qualquer circunstância, pessoas deslocam-se levando mais do que seus pertences. Além do impacto social e humanitário, os fluxos migratórios modificam as populações humanas porque alteram o perfil demográfico, modificam a microbiota e dispersam alelos.

Sem pessoas se deslocando, agentes infecciosos não iriam tão longe nem tão rápido; por isso, diversas doenças podem alcançar escala planetária. Movimentando-se, os contingentes populacionais humanos levam consigo sua microbiota, e nesse grupo enquadram-se os vírus da aids, o vírus ebola e o H1N1. Outro exemplo: suspeita-se que o recente surto de zika no Brasil (significativo a partir de 2015, inclusive acompanhado por casos de microcefalia) pode ter chegado ao país com turistas que aqui vieram para a Copa do Mundo de 2014.

Migrações também modificam o *pool* gênico, conjunto de alelos das populações. Em geral, as alterações mais significativas ocorrem nas populações que recebem os fluxos migratórios, cuja diversidade alélica aumenta com a chegada de variantes gênicas antes raras ou mesmo ausentes. A presença na população brasileira dos alelos associados à talassemia e à doença falciforme é um exemplo e conta parte da nossa história.



Winifred Wisniewski/FLPA/Keystone

Figura 1. Restrito a algumas áreas do globo, o guepardo (*Acinonyx jubatus*) está ameaçado de extinção: apenas 20 mil exemplares sobrevivem, todos geneticamente muito semelhantes.

O guepardo atinge velocidades superiores a 100 km/h. Na vegetação da savana africana, camuflado pela coloração de sua pelagem, aproxima-se furtivamente da presa, antes de disparar em sua direção (**figura 1**).

A espécie, que já esteve largamente distribuída em diversas regiões do planeta, hoje está restrita a pequenas áreas da África e da Ásia. É provável que uma redução drástica da população desses animais tenha ocorrido há cerca de 10 mil anos, na última grande glaciação; outra redução foi causada pela ação humana, no início do século XX, quando esses carnívoros foram exaustivamente caçados por causa de sua bela pelagem.

Esse predador encontra-se perigosamente próximo da extinção: de uma população antes grande, apenas alguns milhares existem atualmente, e como os cruzamentos ocorrem entre indivíduos que possuem ancestralidade comum, os guepardos são geneticamente muito semelhantes entre si.

Os cruzamentos entre indivíduos aparentados frequentemente têm consequências negativas. Os guepardos vêm se tornando muito susceptíveis a infecções. Sua taxa de natalidade está diminuindo, bem como a resistência a corridas mais longas: ficam exaustos depois que percorrem dois ou três quilômetros, perdendo a competição para predadores menos velozes, porém mais resistentes, como leões e leopardos.

A história de como esses eficientes caçadores estão beirando o desaparecimento mostra aspectos importantes dos mecanismos pelos quais as espécies evoluem e como a variabilidade genética aumenta a chance de sobrevivência. Quando indivíduos geneticamente semelhantes cruzam entre si, originam gerações inteiras de “cópias”. Basta que surja, por exemplo, um vírus que não seja combatido pelo sistema imune do guepardo para que toda a população fique ameaçada.

O que está ocorrendo com os guepardos pode ser comparado com um pequeno grupo de seres humanos em que, geração após geração, primos emparentam-se apenas entre si.

► Variabilidade genética

Para determinado loco gênico, os indivíduos podem ser homozigotos ou heterozigotos. À primeira vista, é difícil diferenciar um homozigoto dominante de um heterozigoto, pois a expressão do alelo dominante é praticamente a mesma, em dose simples ou dupla. No início da década de 1960, análises bioquímicas das proteínas permitiram determinar diferenças entre homozigotos e heterozigotos, sugerindo que não existe alelo verdadeiramente dominante.

A quantidade de pares de alelos em heterozigose pode ser usada como medida do grau de variabilidade genética de cada espécie. Quanto mais locos gênicos estiverem em heterozigose, maior será a variabilidade genética entre os indivíduos (**figura 2**).

A taxa de heterozigose varia de uma espécie para outra e, em geral, é diretamente proporcional ao tamanho das populações. Os seres humanos possuem, em seus cromossomos, cerca de 25 mil genes, 10% dos quais em heterozigose. Os demais 90% estão em homozigose, e essa proporção não sofre grandes variações de um grupo humano para outro.

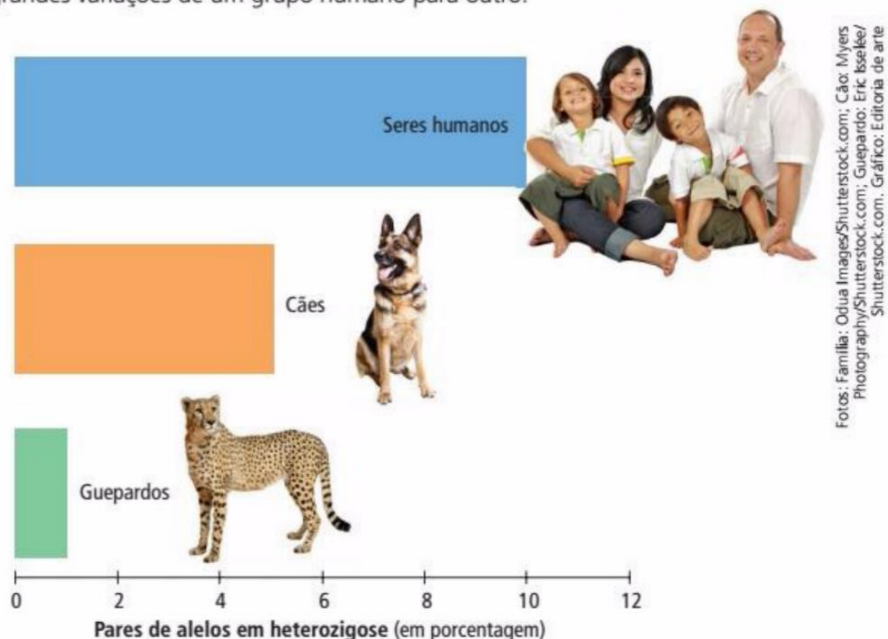


Figura 2. Seres humanos e cães apresentam taxa de heterozigose maior que a dos guepardos. (Imagens sem escala.)

POSTLETHWAIT, J. H.; HOPSON, J. L. *Modern Biology*. Austin: Holt, Rinehart and Winston, 2006.

Fotos: Família: Odua Images/Shutterstock.com; Cão: Myers Photography/Shutterstock.com; Guepardo: Eric Isselee/Shutterstock.com. Gráfico: Editora de arte

O grau de **variabilidade genética** é fundamental para a sobrevivência das espécies, pois aumenta a probabilidade de existirem indivíduos capazes de tolerar eventuais mudanças do ambiente. Quando há grande semelhança genética entre seus membros, a espécie tem menor capacidade de resistir às agressões ambientais. Nesse caso, se as condições ambientais se tornarem desfavoráveis para um dos indivíduos, provavelmente serão desfavoráveis para todos.

A pequena variabilidade genética de uma espécie é um fenômeno autopotencializado. Devido a ela, diminui a probabilidade de os indivíduos sobreviverem; com a redução da população, a taxa de cruzamentos entre aparentados aumenta, diminuindo ainda mais a variabilidade genética.

Fatores afetivos, sociais, religiosos, econômicos e étnicos podem determinar como ocorre o emparelhamento na espécie humana.

► Como surge a variabilidade genética

A variabilidade genética tem três agentes principais:

- as **mutações gênicas**, que geram novos alelos, ou seja, formas alternativas de um gene;
- a **permutação gênica**, que, durante a meiose, redistribui os alelos em heterozigose pelos cromossomos homólogos;

- a **segregação independente** dos cromossomos homólogos, que distribui aleatoriamente os alelos em heterozigose pelos gametas.

Existem indivíduos heterozigotos porque os locos gênicos podem ser ocupados por diferentes alelos, que surgem uns dos outros por **mutação**.

Do ponto de vista adaptativo, as mutações podem ser prejudiciais, indiferentes ou benéficas. Não há “escolha prévia” dos locos gênicos que sofrem mutação nem do tipo de mutação que ocorre. Mutações desfavoráveis podem ser eliminadas pela seleção natural; mutações favoráveis podem ser selecionadas e transmitidas às gerações seguintes.

As mutações que determinam o aparecimento de variações prejudiciais tendem a desaparecer, pois os indivíduos afetados têm menor probabilidade de sobreviver e de gerar descendentes. Por outro lado, os que foram contemplados com uma variação benéfica, mesmo que estejam em menor número, levam vantagem sobre os demais membros da espécie, já que é maior a probabilidade de que sobrevivam e se reproduzam.

Entre os indivíduos de cada espécie, há uma nítida **taxa diferencial de reprodução**. Os indivíduos adaptados têm maior probabilidade de se reproduzir e de transmitir suas características para as futuras gerações. Portanto, mesmo sendo raras, as mutações benéficas contribuem para a história evolutiva das espécies.

Mutações

Em 1902, estudando a transmissão de características em flores de primula (*Oenothera lamarckiana*), Hugo de Vries observou que certas variações apareciam repentinamente sem que estivessem presentes em gerações anteriores, e que alguns padrões de herança não podiam ser explicados pelas leis de Mendel. Ele sugeriu que essas variações surgiam por alterações súbitas do material genético, dando-lhes o nome de **mutações**, eventos relativamente raros, espontâneos e aleatórios. Em espécies que se reproduzem assexuadamente, são a única fonte de variabilidade genética.

As mutações podem afetar:

- apenas **um loco gênico** (mutações gênicas);

- **cromossomos inteiros** ou **partes** deles (alterações cromossômicas, ou mutações cromossômicas).

► Mutações gênicas

Mutações gênicas (ou pontuais) são aquelas em que apenas um loco gênico é afetado, com uma alteração, por exemplo, da sequência de nucleotídeos do DNA, a qual pode modificar a proteína codificada (**figura 3**).

As mutações favoráveis, que proporcionam vantagem adaptativa, são selecionadas e incorporadas ao patrimônio genético da espécie.

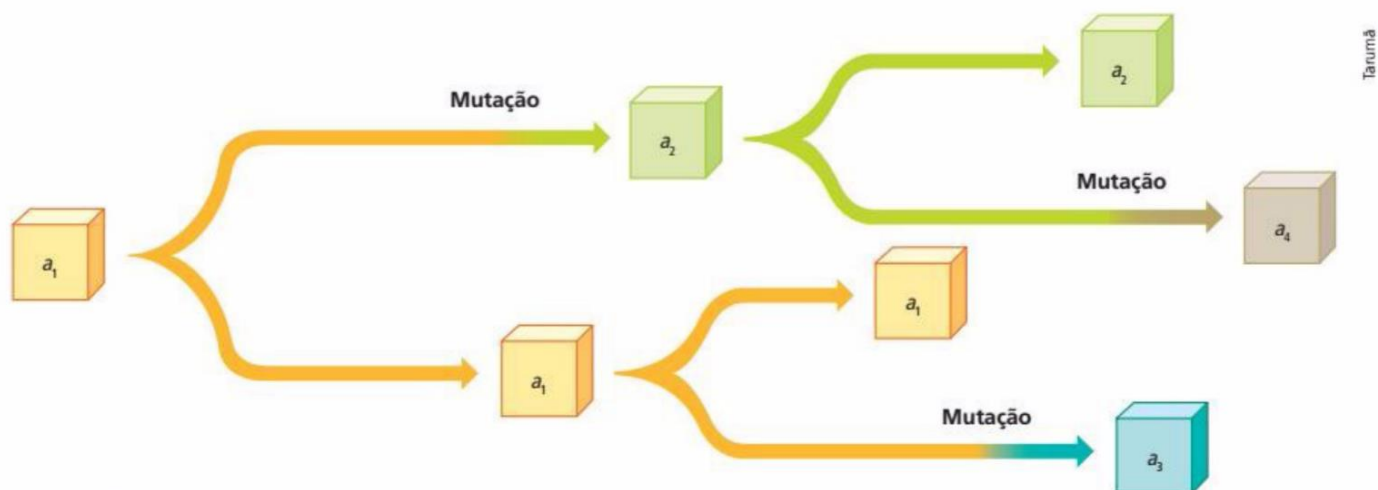


Figura 3. Mutações gênicas transformam alelos preexistentes em novos alelos, que podem se incorporar às populações.

Muitas pessoas com alterações cromossômicas podem ter vida plena e ativa. Por isso, recomendamos o abandono da expressão "aberrações cromossômicas", anteriormente usada para designar esses quadros.

▶ Alterações cromossômicas

Erros na divisão celular (mitose ou meiose) podem afetar fragmentos de cromossomos, cromossomos inteiros ou mesmo lotes (um ou mais conjuntos n) de cromossomos. São as **alterações cromossômicas**, que podem ser numéricas (caracterizadas pela alteração do número de cromossomos) ou estruturais (que modificam a estrutura de um ou de alguns cromossomos).

▶ Alterações cromossômicas numéricas

As células com alterações cromossômicas numéricas possuem número de cromossomos diferentes do número normal da espécie.

As alterações que determinam variações de lotes inteiros de cromossomos chamam-se **euploidias**. São exemplos a **haploidia**, em que falta um lote de cromossomos nas células, e as **poliploidias**, quando as células podem ser triploides ($3n$), tetraploides ($4n$) etc. (figura 4). Na espécie humana, haploidia e poliploidia são incompatíveis com o desenvolvimento do embrião.

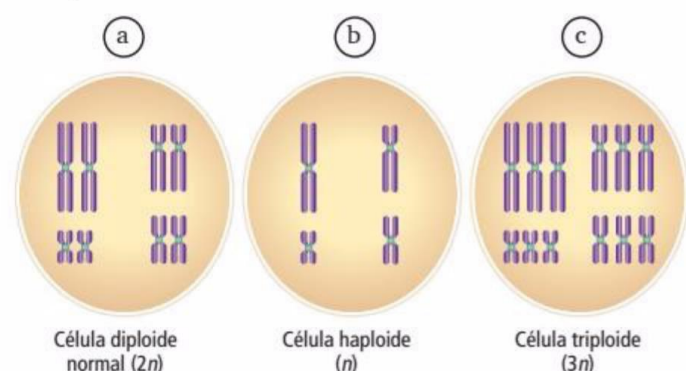


Figura 4. Nesse exemplo hipotético, o padrão normal diploide para a espécie é a célula (a) com $2n = 8$ cromossomos. A célula (b) é haploide ($n = 4$), e a célula (c) é triploide ($3n = 12$). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As **aneuploidias** são alterações cromossômicas numéricas em que a variação do número de cromossomos é inferior a um lote cromossômico, afetando geralmente um ou poucos pares de cromossomos homólogos. Resultam de defeitos na separação de cromossomos, conhecidos como **não disjunções**, que podem ocorrer na meiose (durante a formação dos gametas) ou na mitose.

Se o padrão normal de uma espécie é uma célula diploide, ocorrendo não disjunção na meiose, surgem dois tipos de gametas com alterações cromossômicas: aqueles com um cromossomo a menos e os que possuem um cromossomo a mais. A fusão de gametas normais com gametas anormais como esses resulta em aneuploidias (figura 5).

Peça aos alunos que comparem as células da figura 5 com a representada na figura 4a.

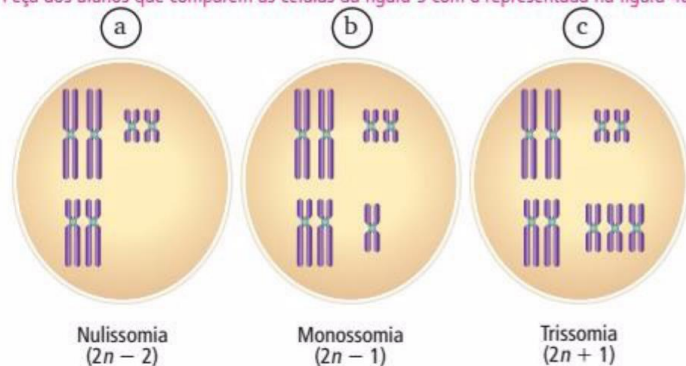


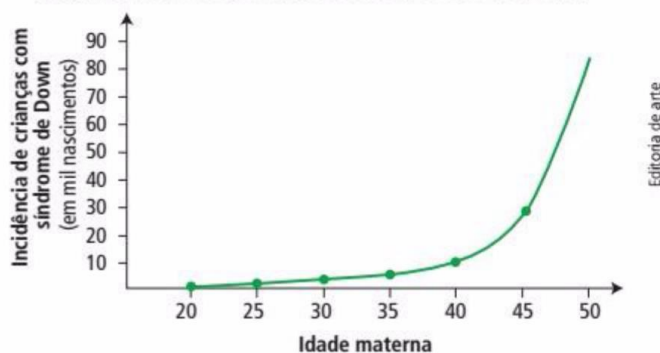
Figura 5. (a) Nulissomia: um gameta com um cromossomo a menos une-se a um gameta semelhante, e o zigoto terá dois cromossomos a menos. (b) Monossomia: um gameta com um cromossomo a menos une-se a um gameta normal, e o zigoto formado apresentará apenas um cromossomo de determinado par. (c) Trissomia: caso um dos gametas possua um cromossomo a mais, o zigoto terá um cromossomo acrescentado a um dos seus pares de cromossomos homólogos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As mais conhecidas alterações cromossômicas humanas são trissomias, entre elas, a síndrome de Down (trissomia do cromossomo 21). O nome da síndrome é uma referência ao médico inglês John Langdon Down (1828-1896), que a descreveu em 1866. A origem cromossômica da síndrome foi descoberta quase um século depois, pelo médico francês Jérôme Lejeune (1926-1994). Pela primeira vez, um quadro clínico foi associado a uma anomalia cromossômica.

A incidência da síndrome de Down aumenta com a idade materna (figura 6), pois a não disjunção, que resulta em gametas anormais, ocorre geralmente nas células germinativas femininas.

O papel da idade paterna na ocorrência da síndrome de Down segue controverso. Analisando mais de 3 300 casos, pesquisadores mostraram que, nos casais em que a idade materna é superior a 40 anos, a idade paterna também elevada (superior a 42 anos) tem um efeito maior do que anteriormente se suspeitava, aumentando em até 50% a incidência da síndrome.

Idade materna e incidência de síndrome de Down



FISCH, H. et al. *The Journal of Urology*, 169(6), p. 2275-2278, 2003.

Figura 6. As peculiaridades da gametogênese feminina explicam a maior incidência da não disjunção durante a ovogênese.



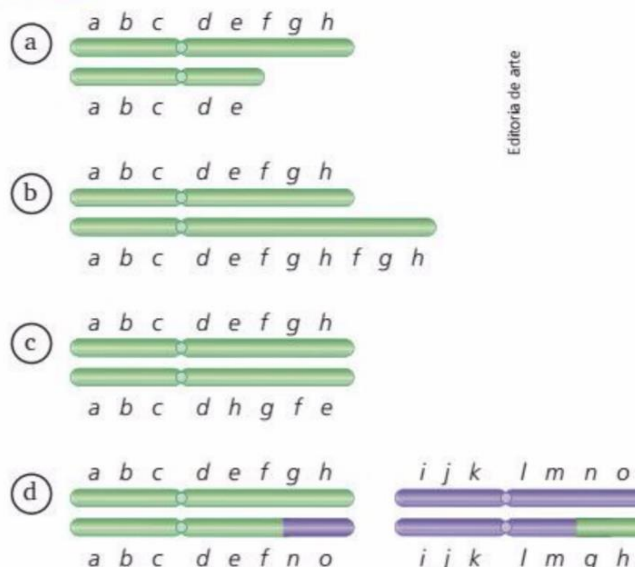
Figura 7. Recebendo apoio familiar, estimulação adequada e precoce, cuidados de fisioterapia e terapia ocupacional e atendimento adequado à saúde, pessoas com síndrome de Down podem estudar, atingir a vida adulta e desenvolver diversas atividades profissionais e físicas.

Outros exemplos de trissomias na espécie humana são a síndrome de Klinefelter (47, XXY), a trissomia X (47, XXX) e a síndrome do duplo-Y (47, XYY).

▶ Alterações cromossômicas estruturais

São alterações que não modificam o número de cromossomos de uma célula, mas a estrutura deles, determinando o aparecimento de cromossomos morfológicamente anormais. As alterações cromossômicas estruturais classificam-se em **deleções** (ou deficiências), **duplicações**, **inversões** e **translocações** (figura 8).

Figura 8. (a) Neste par de cromossomos homólogos, o que está na posição superior é normal; o outro apresenta uma deleção, ou seja, a perda de um fragmento (que resulta na ausência de alguns genes). (b) Em um dos cromossomos deste par nota-se a duplicação de um fragmento. (c) Neste caso, um dos cromossomos sofreu inversão de um fragmento, sem perda de genes. (d) Uma translocação deve-se à transferência de fragmentos entre cromossomos não homólogos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)



Editoria de arte

As duplicações geralmente são menos graves que as deficiências porque não provocam falta de informações genéticas. Por sua vez, a gravidade das manifestações de uma deficiência depende dos genes ausentes. Um exemplo humano é a **síndrome do miado do gato**, em que falta um fragmento do cromossomo 5. Crianças com essa síndrome apresentam um choro característico (semelhante ao miado de um gato, de onde vem o nome da doença), deformidades dos membros, retardo mental e distúrbios neuromotores graves. A síndrome do miado de gato foi reconhecida em 1963, também por Jérôme Lejeune.

Uma translocação que ocorre na espécie humana envolve um braço longo de um cromossomo 21, que se fixa ao cromossomo 14. A pessoa portadora dessa translocação é fenotipicamente normal, pois não lhe faltam genes, que apenas estão em posição anormal. Porém, os gametas portadores desse cromossomo 14 alterado, quando fecundados, darão origem a um zigoto que contém um par de cromossomos 21 e mais um braço longo de cromossomo 21 aderido ao cromossomo 14. O quadro clínico resultante é idêntico ao da síndrome de Down decorrente da trissomia do cromossomo 21.

▶ Agentes mutagênicos

O geneticista norte-americano Hermann Joseph Müller (1890-1967, prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia em 1946) foi o primeiro pesquisador a alertar sobre os riscos das radiações para os seres vivos. Em 1920, Müller descobriu que, submetendo drosófilas a raios X, a taxa de mutações aumentava cerca de cem vezes em relação à população que não era exposta.

Fatores físicos, químicos ou biológicos que elevam a frequência das mutações são chamados **agentes mutagênicos**. Entre os agentes físicos, os mais conhecidos são os raios X, os raios gama e a radiação ultravioleta. O calor também aumenta a taxa de mutações: em trabalhadores de usinas siderúrgicas que permanecem muito tempo em locais de temperatura elevada, a taxa de mutações é mais alta que na população geral.

Substâncias químicas, como o gás mostarda, o ácido nitroso (HNO_2) e alguns componentes da fumaça do cigarro, são comprovadamente capazes de alterar o material genético, podendo causar diversas formas de mutações e de câncer.

Agentes biológicos, como o vírus da hepatite B e o papilomavírus humano (HPV), também estão relacionados com o desenvolvimento de formas de câncer associadas a alterações do material genético.

Todos os seres vivos estão expostos a agentes mutagênicos; entretanto, as mutações permanecem como eventos pouco frequentes. A grande estabilidade do material genético deve-se às **enzimas de reparação**, que patrulham permanentemente as moléculas de DNA à procura de alterações, que são, na maioria das vezes, detectadas e reparadas.

▶ O xeroderma pigmentoso é uma doença humana relacionada com a deficiência do sistema enzimático de reparação do DNA. Pessoas afetadas devem evitar a luz solar, que provoca lesões de pele e até mesmo câncer.

Depois de superar *bullying*, jovem com Down vira *chef* de cozinha

Laura [...] foi a primeira aluna com síndrome de Down a se graduar regularmente na Hotec (Faculdade de Tecnologia em Hotelaria, Gastronomia e Turismo de São Paulo), em 2014.

Até conquistar o diploma e ter sido a oradora da turma, a jovem [...] precisou encarar muito *bullying* em sala de aula, quando estudava em colégios

particulares de Sorocaba, onde nasceu e cresceu.

As piadinhas e dificuldades nunca a fizeram desistir dos estudos. Aos 20 anos, quando concluiu o ensino médio, conheceu o projeto social *Chefs Especiais*, que ensina conceitos básicos de culinária a pessoas com síndrome de Down.

Nas aulas, a jovem enfrentou o fogão

e dividiu a cozinha com chefs como Olivier Anquier e Henrique Fogaça. Apaixonou-se pela gastronomia.

Hoje, ela é professora convidada voluntária do projeto que a impulsionou na profissão, faz e vende doces, prepara-se para cursar pós-graduação, participa de comerciais de TV e sonha com montar sua própria confeitaria, a Delícias de Laura.

FREITAS, O. Depois de superar *bullying*, jovem com Down vira *chef* de cozinha. **Folha de S.Paulo**, 3 set. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/empreendedorsocial/minhahistoria/2015/09/1679161-depois-de-superar-bullying-jovem-com-down-vira-chef-de-cozinha.shtml>>. Acesso em: mar. 2016.

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia, faça o que se pede:

1. Sua escola adota critérios e dispositivos de acessibilidade adequados a pessoas com deficiência? E sua cidade? Descreva-os e discuta se são eficientes nos diversos casos de deficiência (por exemplo, visual, motora, auditiva etc.).
2. Converse com professores, coordenadores e a direção de sua escola e de outras escolas da cidade a respeito da inclusão de pessoas com deficiência. Construa um painel com as experiências mais relevantes, compare-as e apresente os resultados relatados pelos profissionais envolvidos.

Genética de populações

Consideremos uma população de mamíferos em que há um par de alelos *A* e *a*, no qual o dominante determina pelagem cinza e o recessivo, pelagem amarela. Chama-se **pool gênico** (ou conjunto gênico) o total de genes, representados por seus alelos, dessa população (**figura 9**).

O que deve ocorrer com as frequências de dois alelos, geração após geração?

Em 1908, trabalhando independentemente, dois pesquisadores, o matemático inglês Godfrey H. Hardy (1877-1947) e o médico alemão Wilhelm Weinberg (1862-1937), postularam que, em uma população, sob determinadas condições, as frequências dos alelos e de cada fenótipo permanecem constantes, geração após geração, o que ficou conhecido como **princípio** (ou **equilíbrio**) de Hardy-Weinberg.

Para que as frequências dos alelos se mantenham constantes, cinco condições devem ser obedecidas, não exatamente aplicáveis às populações humanas:

- **Populações suficientemente grandes.** Se um dado for lançado dez vezes e a face 6 aparecer em cinco lançamentos, pode-se estar em um dia de sorte, mas se o dado for lançado mil vezes e a face 6 aparecer oitocentas vezes, deve-se desconfiar do dado! Quanto maior a amostra, menor é a chance de que desvios como esse aconteçam. Em populações pequenas, é elevada a probabilidade de que ocorram mudanças das frequências de certos alelos. Fatores fortuitos podem eliminar indivíduos portadores de um alelo, o qual desaparecerá da população. Em populações grandes, a probabilidade de que isso aconteça é menor.
- **Ausência de mutações.** Os alelos que surgem por mutação são incorporados ao *pool* gênico, alterando as frequências de alelos preexistentes. Na espécie humana, estima-se que um gameta em cada 100 mil ou 200 mil seja portador de uma mutação gênica.
- **Ocorrência de cruzamentos casuais.** O princípio da estabilidade da frequência dos alelos só é válido quando os cruzamentos acontecem ao acaso. As populações em que os cruzamentos são casuais chamam-se **panmíticas**. Obviamente, não é o caso da espécie humana.
- **Ausência de migrações.** Os fluxos migratórios acarretam trocas de informações genéticas entre populações diferentes. Devido à grande capacidade de adaptação, a espécie humana sempre se movimentou em grandes correntes migratórias, que transferem alelos de uma região para outra.
- **Ausência de ação da seleção natural.** A seleção natural, que representa a influência dos fatores ambientais sobre os diferentes tipos de indivíduos de uma população, mantendo apenas os mais aptos, seleciona determinados alelos em detrimento de outros, que tendem a desaparecer.

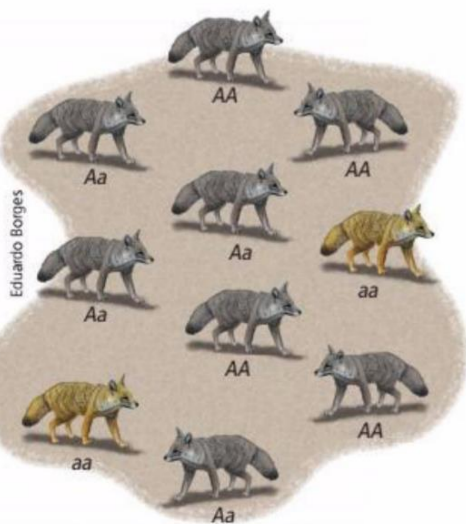


Figura 9. Com base no *pool* gênico, pode-se determinar a frequência de cada alelo nessa população. Os alelos *A* e *a* totalizam 20; destes, 12 são alelos dominantes *A* e 8 são alelos recessivos *a*. Portanto, a frequência do alelo dominante *A* é de 60% (12 em 20), e a do recessivo *a* é de 40% (8 em 20). A frequência de cada alelo (*A* ou *a*) representa sua porcentagem no *pool* gênico da população. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

► Consequências do princípio de Hardy-Weinberg

De acordo com o princípio de Hardy-Weinberg, em uma população em equilíbrio, as frequências dos alelos são constantes; entretanto, as populações não são estáticas, mas evoluem continuamente. A ocorrência de mutações, as pressões da seleção natural e outros fatores fazem com que as frequências de certos alelos se alterem ao longo do tempo. Portanto, sob esse enfoque, a **evolução** pode ser entendida como o **conjunto de mudanças das frequências dos alelos**.

As mutações acrescentam novos alelos ao *pool* gênico das espécies; a **segregação independente** e as **permutações** os recombinam, aumentando a variabilidade genética. Agindo sobre a diversidade, a **seleção natural** tende a eliminar as formas não adaptativas, diminuindo a variabilidade e "direcionando" a evolução.

Theodosius Dobzhansky definiu uma **população** como um conjunto de indivíduos que, reproduzindo-se sexualmente, compartilham informações genéticas e mantêm um patrimônio gênico comum. De acordo com Hardy e Weinberg, as frequências dos alelos nas populações se mantêm constantes, além de serem iguais entre os machos e as fêmeas, que dispõem dos mesmos alelos na formação dos gametas.

Portanto, com base nas frequências dos alelos na população, pode-se determinar a probabilidade de que certo tipo de gameta seja produzido (**figura 10**).

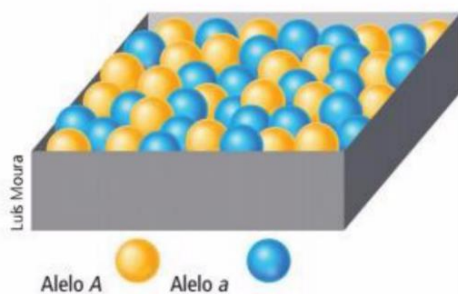
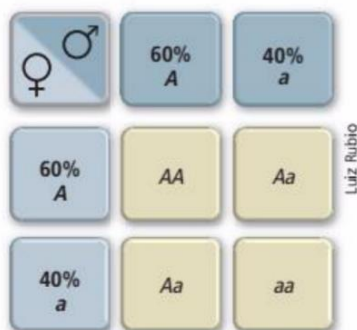


Figura 10. O *pool* gênico de uma população pode ser comparado a uma grande "caixa de alelos". Na formação dos gametas, qualquer tipo de alelo pode ser retirado ao acaso da caixa.

Na população representada na **figura 9**, as frequências dos alelos A e a são de 60% e 40%, respectivamente. Logo, espera-se que 60% dos espermatozoides produzidos contêm o alelo A e 40%, o alelo a. Entre os gametas produzidos pelas fêmeas, a proporção dos que contêm esses alelos deve ser a mesma (60% com A e 40% com a).

Esses dados permitem estimar as frequências dos genótipos de uma futura geração.



A probabilidade de nascimento de um indivíduo de genótipo AA é equivalente à probabilidade de um espermatozoide com o alelo A fecundar um óvulo com o alelo A. Essa probabilidade é determinada pelo produto das frequências dos alelos.

$$P_{(\text{espermatozoide } A)} = 0,6 \text{ e } P_{(\text{óvulo } A)} = 0,6$$

$$P_{(AA)} = 0,6 \times 0,6 = 0,36 \text{ ou } 36\%$$

A probabilidade de aparecer um indivíduo de genótipo aa é calculada da mesma forma:

$$P_{(\text{espermatozoide } a)} = 0,4 \text{ e } P_{(\text{óvulo } a)} = 0,4$$

$$P_{(aa)} = 0,4 \times 0,4 = 0,16 \text{ ou } 16\%$$

Existem duas maneiras diferentes de gerar um heterozigoto Aa: um espermatozoide A fecundar um óvulo a ou um óvulo A ser fecundado por um espermatozoide a.

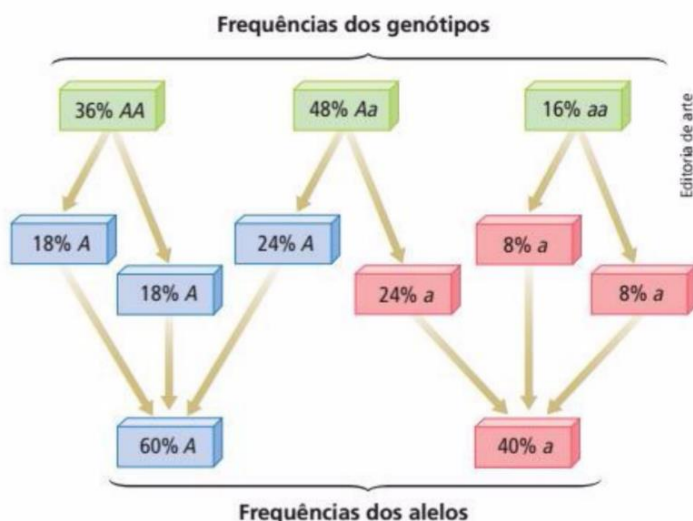
$$P_{(\text{espermatozoide } A)} = 0,6 \text{ e } P_{(\text{óvulo } a)} = 0,4$$

ou

$$P_{(\text{espermatozoide } a)} = 0,4 \text{ e } P_{(\text{óvulo } A)} = 0,6$$

$$P_{(Aa)} = (0,6 \times 0,4) + (0,4 \times 0,6) = 0,48 \text{ ou } 48\%$$

Na geração seguinte, as frequências dos alelos serão mantidas.



Indicando-se por p a frequência do alelo dominante e por q a frequência do alelo recessivo, a soma das frequências ($p + q$) é igual a 1 (100%).

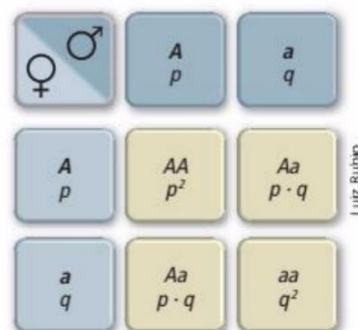
$$(p + q) = 1$$

Elevando-se ao quadrado os dois termos da igualdade, temos:

$$(p + q)^2 = 1^2$$

De onde obtemos:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$



Dessa forma, a frequência de um homozigoto (dominante ou recessivo) é igual ao quadrado da frequência do alelo correspondente (p^2 ou q^2), enquanto a frequência do heterozigoto é igual ao dobro do produto das frequências dos alelos ($2pq$).

Simulando uma população

Primeira atividade

Aplicação da equação de Hardy-Weinberg

Esta atividade irá criar uma população simulada de organismos diploides. Cada participante deve receber quatro cartas, que representam os gametas produzidos por meiose. A letra em cada carta representa um alelo que será transmitido pelo gameta. Cada um irá contribuir com um gameta para a formação de sua descendência.

Todos na sala começam com quatro cartas, duas com A e duas com a.

Objetivo

- Determinar as frequências iniciais dos alelos A e a.

Procedimentos

Escreva
no caderno

Estabeleça os valores e anote-os em seu caderno em uma tabela como a mostrada ao lado (tabela 1). Cada aluno irá embaralhar suas quatro cartas e as oferecerá em leque para o colega do lado para que ele apanhe uma das cartas. O mesmo procedimento será feito pelo parceiro com o aluno que antes lhe ofereceu o leque, para que este também isole agora uma de suas cartas. Esse par de cartas constituirá o genótipo de um indivíduo de sua descendência.

Por exemplo:

$$A + a = Aa$$

$$A + A = AA$$

$$A + a = aa$$

A equação de Hardy-Weinberg fornece a frequência alélica em grandes populações (em equilíbrio de Hardy-Weinberg). Nesta simulação (em um primeiro momento), não será preciso usá-la para determinar a frequência, pois teremos uma contagem real.

Some os tipos de genótipos conseguidos pela sala.

Em uma sala composta de 48 alunos, por exemplo, podemos ter:

$$A/A = 6$$

$$A/a = 12$$

$$a/a = 6$$

Vamos calcular a frequência genotípica dessa população:

$$\text{Total de genótipos} = 24$$

$$Aa = 12/24 = 1/2 \text{ (50\%)}$$

$$AA = 6/24 = 1/4 \text{ (25\%)}$$

$$aa = 6/24 = 1/4 \text{ (25\%)}$$

Vamos, agora, calcular a frequência alélica (ou frequência gênica) da população:

$$\text{Total de alelos na população} = 48$$

Frequência do alelo A:

$$A/A = 6 \rightarrow A = 12$$

$$A/a = 12 \rightarrow A = 12$$

$$\text{Total de alelos A} = 24$$

$$A = 24/48 = 1/4 \text{ (50\% ou 0,5)}$$

Frequência do alelo a:

$$A + a = 1,0 \text{ (ou 100\%)} \rightarrow 0,5 + a = 1 \rightarrow a = 0,5 \text{ (ou 50\%)}$$

Se a classe for pequena, ou se quisermos um espaço amostral maior, pode-se repetir a distribuição de cartas entre os alunos parceiros quantas vezes quisermos, lembrando sempre de anotar os genótipos conseguidos em cada rodada refeita. Cada genótipo formado será um indivíduo a mais em nossa população simulada.

Seguem os modelos de tabelas para que sejam copiadas em seu caderno, no qual os dados devem ser anotados.

Tabela 1. Frequência alélica na saída das rodadas

Alelo	A	a
Frequência inicial		

Tabela 2. Pares de alunos

Indivíduo formado	Genótipo
Primeira rodada	
Segunda rodada	
Terceira rodada	
Quarta rodada	
Quinta rodada	

Tabela 3. Professor

	AA	Aa	aa
Primeira rodada			
Segunda rodada			
Terceira rodada			
Quarta rodada			
Quinta rodada			
Total			

Tabela 4. Frequência genotípica (final das rodadas)

	AA	Aa	aa
Frequências			

Tabela 5. Frequência alélica (final das rodadas)

Alelo	A	a
Frequências		

Segunda atividade

Estimando as frequências alélicas com a equação de Hardy-Weinberg

Objetivo

- Neste experimento, vamos confrontar um resultado real de frequências gênicas, genotípicas e fenotípicas em uma população com simulação feita por meio da equação de Hardy-Weinberg. A partir do confronto, trabalharemos uma possível explicação para a concordância ou discordância em relação aos dados obtidos.

Procedimentos

Escreva
no caderno

Inicialmente, observem o exemplo a seguir, que demonstra o cálculo das frequências alélicas relacionadas à capacidade de dobrar a língua em U. Representamos com a letra A o alelo dominante e com a letra a o alelo recessivo.

Na sequência, determinem a frequência fenotípica de todos os alunos da classe, quanto à capacidade ou à incapacidade de dobrar a língua. Para isso, cada aluno deve testar sua capacidade de dobrar a língua em U.

Arthur Ng Heng Kui/Shutterstock.com



A capacidade de dobrar a língua em U é condicionada por um alelo dominante.

Na sequência, montem uma tabela na lousa, que deve ser preenchida de acordo com o modelo da tabela abaixo.

Após finalizar o preenchimento da tabela da lousa, vocês devem copiá-la no caderno e preencher com os dados, calculando a frequência de alelos na classe para a característica analisada.

	Capazes de dobrar a língua	Incapazes de dobrar a língua	Total de indivíduos testados	Frequência de alelos	
				A (p)	a (q)
Total de classes					

Veja este exemplo:

	Capazes de dobrar a língua	Incapazes de dobrar a língua	Total de indivíduos testados	Frequência de alelos	
				A (p)	a (q)
Total de classes	22	10	22 + 10 = 32		

Cálculo das frequências alélicas

Alunos incapazes de dobrar a língua são homozigotos recessivos (aa). Portanto, a frequência do genótipo aa, para o exemplo, é calculada assim:

$$10/32 = 31,25\% \text{ ou } 0,3125$$

Segundo a equação de Hardy-Weinberg: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

Então: $q^2 = 0,3125$, de onde $q = 0,56$ (56%)

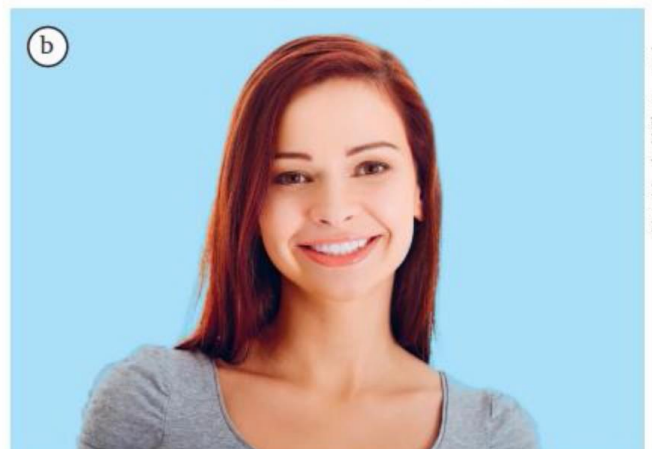
Se $(p + q) = 1$ (ou 100%), $p + 0,56 = 1$, então $p = 0,44$ (ou 44%).

	Dobram a língua	Não dobram a língua	Total de indivíduos testados	Frequência de alelos	
				A (p)	a (q)
Total de classes	22	10	22 + 10 = 32	0,44 ou 44%	0,56 ou 56%

Alternativamente, podem ser pesquisadas outras características, por exemplo, presença de bico de viúva (linha do limite anterior do cabelo convergindo em V para a testa), condicionada por alelo dominante. A ausência (linha anterior do cabelo reta) é condicionada por alelo recessivo.



BillionPhotos/Shutterstock.com



Piotr Marcinski/Shutterstock.com

A linha limite do cabelo (a) com bico de viúva ou (b) sem bico de viúva também é uma característica determinada geneticamente.

Fatores que alteram as frequências dos alelos

As frequências dos alelos em uma população podem ser influenciadas por diversos fatores, como previsto pelo princípio de Hardy-Weinberg.

Mutações e seleção natural

As mutações gênicas, a segregação independente dos cromossomos homólogos e as permutações aumentam a variabilidade genética. Por outro lado, a seleção natural tende a diminuí-la, pois reduz a frequência dos alelos que não favorecem a adaptação.

As mutações gênicas determinam o surgimento de alelos, que são incluídos no *pool* gênico das populações, alterando as frequências dos alelos preexistentes. A cada ocorrência de uma mutação gênica, o equilíbrio de Hardy-Weinberg é discretamente alterado pela ligeira diminuição das frequências dos alelos preexistentes.

À medida que os alelos surgem, passam pelo crivo da seleção natural, podendo desaparecer ou não. Se um alelo determinar o desenvolvimento de uma variação favorável, os portadores desse alelo serão beneficiados. Propiciando uma taxa de reprodução maior que a dos demais da mesma espécie, esse alelo poderá aumentar sua frequência no *pool* gênico.

Por exemplo: em um ambiente permanentemente coberto de neve, os animais de pelagem clara têm maior probabilidade de sobreviver, porque escapam à visão dos predadores. Em uma população de roedores predominantemente de cor branca, uma mutação que determine o aparecimento de pelagem marrom será desfavorável, e o alelo que a condiciona tenderá a desaparecer. Em um ambiente sem neve, cada um desses fenótipos (pelagem branca e pelagem marrom) teria efeito adaptativo contrário.

Migração e fluxo gênico

As migrações podem transferir alelos de uma população para outra. O movimento de alelos que acompanha as migrações é conhecido por **fluxo gênico** (figura 11).

Na espécie humana, há diversos exemplos de fluxos gênicos. É o caso de populações indígenas brasileiras, nas quais não eram encontradas pessoas com sangue tipo A. Com o deslocamento populacional e os cruzamentos com indivíduos de outros grupos

O arquipélago de Tristão da Cunha, no oceano Atlântico, foi colonizado em 1814 por um grupo de 15 ingleses, um deles portador de retinite pigmentosa, doença determinada por um alelo autossômico recessivo. Na década de 1970, de 240 moradores das ilhas, descendentes do grupo inicial, quatro apresentavam retinite pigmentosa, e outros nove eram sabidamente heterozigotos, pela análise dos heredogramas.

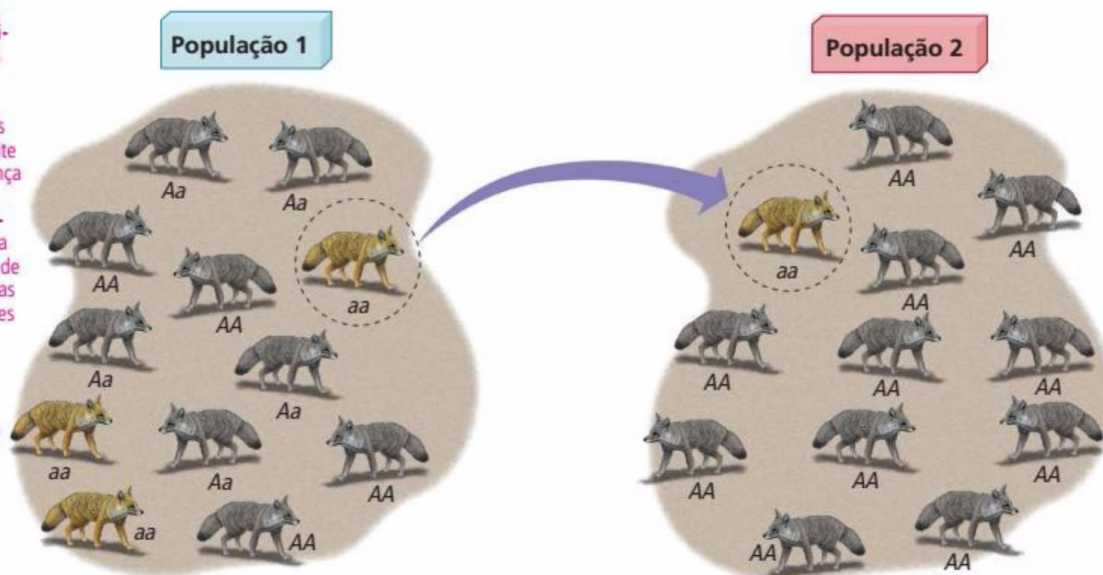


Figura 11. Em geral, as migrações têm efeito mais pronunciado nas populações que recebem o fluxo gênico do que naquelas de onde ele parte. No exemplo citado, o fluxo gênico introduzirá, na população 2, o alelo recessivo a , até então ausente. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)



(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Dependendo das características do ambiente, determinado fenótipo pode ou não ter efeito adaptativo.

populacionais, esse tipo sanguíneo já pode ser observado entre os indígenas.

Outro exemplo envolve a talassemia, forma hereditária de anemia, cujo alelo determinante é originário da costa mediterrânea, mas sua frequência vem aumentando em todos os países da América.

Eduardo Borges

Paulo Manzi

► Acaso e equilíbrio gênico

O acaso pode provocar alterações drásticas das frequências de alguns alelos. Fatores climáticos (chuvas torrenciais, nevascas, granizo, vendavais etc.), terremotos, predação diferencial intensa e outros fatores não previsíveis podem modificar o equilíbrio de Hardy-Weinberg, fenômeno conhecido como **deriva gênica** (ou **oscilação genética**).

Em um milharal, por exemplo, podem existir plantas altas e plantas baixas. Normalmente, as plantas mais altas produzem mais sementes que as plantas mais baixas. Quando ocorre um vendaval, mais plantas altas são derrubadas, enquanto as plantas baixas sobrevivem em maior número, podendo predominar nas gerações seguintes. A ocorrência esporádica de um vendaval não caracteriza ação da seleção natural, a menos que vendavais intensos sejam habituais na região, situação em que as plantas baixas já deveriam predominar.

Um acidente que provoque dramática redução no número de indivíduos de uma população pode ocasionar o chamado **efeito gargalo**. Por ser um fenômeno aleatório, a frequência gênica entre os sobreviventes pode não refletir a frequência gênica da população original.

Um exemplo envolve os elefantes-marinheiros (*Mirounga angustirostris*). Até as primeiras décadas do século XIX, a costa oeste norte-americana, particularmente o estado da Califórnia, tinha uma vasta população desses animais. Contudo, eles foram caçados à exaustão, e a população reduziu-se a 20 animais; a partir de então, a caça foi proibida pelo governo norte-americano. Atualmente, existem cerca de 30 mil indivíduos, todos possivelmente descendentes do grupo sobrevivente e geneticamente muito semelhantes.

Um caso extremo de efeito gargalo acontece quando alguns poucos indivíduos de uma população se afastam dela e originam uma nova população. Sendo um grupo muito pequeno, ele não é representativo do *pool* gênico original; assim, a nova população e a população da qual ela se separou terão frequências gênicas diferentes. É o que se conhece como **efeito do fundador**, e um exemplo bastante estudado envolve a população *amish*.

Em 1720, um grupo de 30 pessoas migrou da Suíça para Lancaster, no estado da Pensilvânia (EUA), formando um grupo conhecido como *amish*, caracterizado pelos hábitos conservadores e pela forte raiz religiosa, pela vida voltada à própria comunidade, pela restrição ao uso de veículos motorizados e de equipamentos eletrônicos.

Atualmente, 200 mil *amish* vivem nos Estados Unidos e no Canadá; destes, cerca de 15 mil são descendentes diretos dos primeiros 30 imigrantes. Um desses imigrantes era um homem que apresentava uma anomalia hereditária, a displasia mesoectodérmica, caracterizada por membros relativamente curtos e polidactilia (dedos supranumerários). Enquanto a frequência do alelo determinante dessa anomalia na população norte-americana é inferior a 0,1%, na população *amish* é de 7%. Foram relatados mais de 60 casos de displasia mesoectodérmica entre os *amish* da Pensilvânia; no restante da população mundial, apenas outros 50 foram descritos.

Além da polidactilia na população *amish* da América do Norte (citada ao lado), do albinismo nos moradores da ilha dos Lençóis e da surdo-mudez nos habitantes da ilha de Martha's Vineyard (citados na abertura do Capítulo 10), outros exemplos do efeito do fundador são a deposição anormal de colágeno nas vias aéreas (que ocasiona dificuldade respiratória) em moradores da ilha de Tristão da Cunha, no oceano Atlântico, e a doença de Huntington na comunidade africânder da África do Sul e em comunidades de pescadores das ilhas do Lago de Maracaibo, na Venezuela.

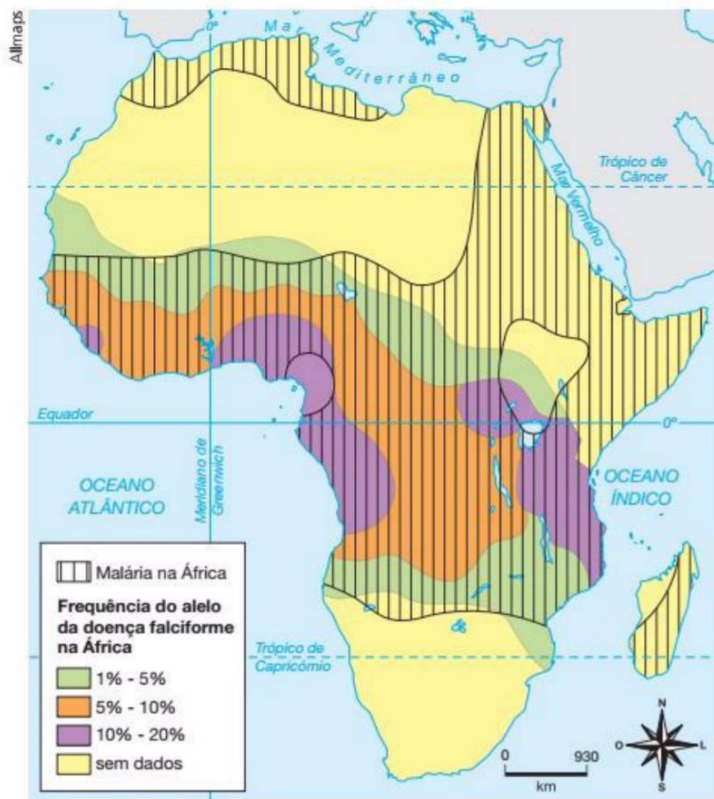
► Seleção sexual

Na América do Norte, são conhecidos dois grupos distintos de gansos: os brancos e os azuis. Durante muito tempo, acreditou-se que fossem duas espécies diferentes. No entanto, estudos cromossômicos têm mostrado que são uma só espécie (*Anser caerulescens*). As aves brancas e as azuis são homozigotas para seus respectivos alelos. Na natureza, os gansos sempre se cruzam com outros da mesma cor, criando-se a tendência de que, geração após geração, predominem as aves homozigotas. Trata-se de um caso de **seleção sexual**; portanto, os cruzamentos não ocorrem por acaso.

Na espécie humana, há um tipo de nanismo determinado geneticamente, a acondroplasia, condicionada por um alelo autossômico dominante. Os anões acondroplásicos geralmente se emparelham entre si, pois em geral sofrem discriminação. Com elevada frequência, esses casais têm filhos também afetados (embora possam ter filhos normais).

► A doença falciforme: estudo de caso

A ação combinada de diversos fatores sobre a frequência de um alelo é exemplificada pela incidência da malária e, concomitantemente, pela frequência do alelo *HbS*, causador da doença falciforme e originado por mutação do alelo *HbA*, que produz a hemoglobina normal. Os heterozigotos para o alelo *HbS* não apresentam manifestações graves da doença; ao mesmo tempo, suas hemácias são mais resistentes ao plasmódio (protozoário causador da malária) que as hemácias normais.



Fonte: SOLOMON, E. P. et al. *Biology*. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011.

Figura 12. Mapa da África mostrando a distribuição da frequência do alelo *HbS* e das áreas de ocorrência da malária.

Em regiões de elevada incidência de malária (**figura 12**), há seleção natural dos indivíduos heterozigotos, portadores desse alelo, que têm maior expectativa de vida, portanto maior probabilidade de atingir a idade sexualmente madura e deixar descendentes.

A doença falciforme surgiu na África e, por ondas de migração, alcançou a península Arábica, a borda mediterrânea da Europa (principalmente o sul da Itália) e a Índia. A chegada ao continente americano se deu pela vinda sob coerção violenta de 4 milhões de africanos trazidos para o trabalho escravo, em uma das maiores migrações forçadas da história.

Por diversas razões (preconceito, discriminação, menor expectativa de vida e a própria escravidão), a taxa de endocruzamento permaneceu mais elevada que na população geral por séculos. Durante o período da escravidão, os diversos grupos populacionais americanos (como indígenas, negros e brancos) não compartilhavam uniformemente o patrimônio genético; portanto, não eram uma população pan-mítica.

Atualmente, a migração voluntária de africanos e de latino-americanos levou ao aparecimento da doença falciforme também na Ásia e na Europa.

A doença falciforme é o distúrbio hematológico de causa hereditária mais frequente no Brasil. É crença comum de que essa doença seja exclusiva da população negra. Todavia, embora ocorra com mais frequência em negros, também é detectada em brancos.

Na região Sudeste do Brasil, os heterozigotos (portadores do alelo *HbS*, condicionante da doença falciforme) são 2% da população geral. Entre os negros do Nordeste, a frequência é de quase 10%. Estima-se, portanto, que existam no Brasil cerca de 2 milhões de pessoas com traço falciforme (heterozigotos para o alelo *HbS*).

A distribuição irregular do alelo no país reflete a proporção de afrodescendentes na população e a intensidade com que ocorreram os cruzamentos entre os grupos populacionais. Um levantamento realizado em Pernambuco¹ encontrou 5,4% de portadores do traço falciforme entre os filhos de mulheres negras e 4,6% entre os filhos de mulheres brancas (uma diferença estatisticamente pouco significativa), o que pode ser explicado pela intensa miscigenação neste que foi um dos estados brasileiros que recebeu maior contingente de escravos africanos (**tabela 1**).

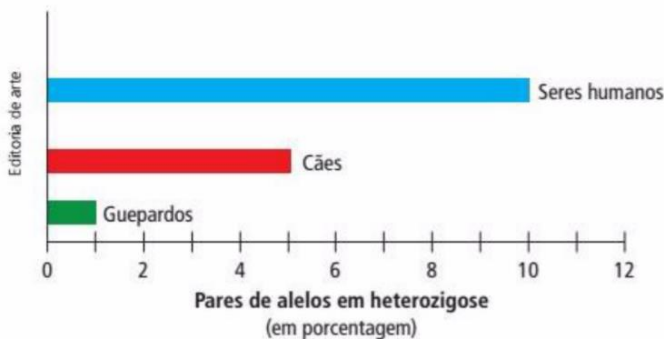
Tabela 1. Prevalência de heterozigotos para o alelo *HbS* em negros em comparação com a população geral, em algumas cidades brasileiras

Cidade	Negros	População geral
Salvador (BA)	4,9% – 8,5%	3,4% – 7,7%
Campinas (SP)	5,6% – 9,8%	2,4% – 3,1%
São Paulo (SP)	5,9% – 7,1%	1,2% – 2,8%

Fonte: ZAGO, M. A. Anemia falciforme e doenças falciformes. In: *Manual de doenças mais importantes, por razões étnicas, na população brasileira afrodescendente*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2001.

¹ BANDEIRA, F. M. G. C. et al. Características de recém-nascidos portadores de hemoglobina "S" detectados através de triagem em sangue de cordão umbilical. *Jornal de Pediatria*, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Pediatria, 75(3), 1999.

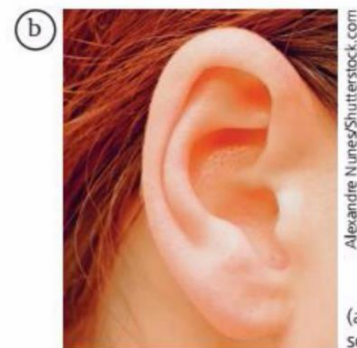
1. (Fuvest-SP) Qual é a relação entre mutação gênica e seleção natural na evolução dos organismos? Explique, de preferência, com exemplos.
2. (UFRJ) O gráfico representa a taxa de pares de alelos em heterozigose em três espécies diferentes de animais.



Qual das três espécies terá menor probabilidade de sobreviver se o ambiente em que vive for alterado? Justifique sua resposta.

3. (Fameca-SP) Sabe-se que, quanto maior a idade da gestante, maior o risco de que venha a gerar uma criança portadora de síndrome cromossômica. Mulheres com mais de 40 anos têm, por exemplo, risco cerca de 10 vezes maior de gerar criança com síndrome de Down. Acredita-se que este maior risco se deva a uma particularidade da gametogênese feminina: a idade do óvulo na época da ovulação e da fecundação. Ao contrário dos homens, nos quais os gametas são sempre “jovens”, a cada ciclo menstrual o óvulo liberado é mais velho que os liberados anteriormente.
 - a) O que ocorre na gametogênese feminina que faz com que a idade do óvulo aumente com o aumento da idade da mulher?
 - b) Que alteração cromossômica caracteriza a síndrome de Down?
 - c) Cite outra síndrome decorrente de alteração cromossômica semelhante ao que determina a síndrome de Down.
4. (Fuvest-SP) Numa população de 100 pessoas, 36 são afetadas por uma característica genética condicionada por um alelo autossômico recessivo *d*.
 - a) Expresse, em frações decimais, a frequência do alelo dominante e a do alelo recessivo.
 - b) Quantos indivíduos devem ser homozigotos?
 - c) Suponha que nessa população os cruzamentos ocorram ao acaso, deles resultando, em média, igual número de descendentes. Considere, também, que a característica em questão não altera o valor adaptativo dos indivíduos. Nessas condições, qual será a porcentagem esperada de indivíduos de fenótipo dominante na próxima geração?
5. (Unicamp-SP) Em uma população em equilíbrio, a frequência do alelo *i* (que determina o grupo sanguíneo O) é de 40%. Em uma amostra de 1 000 pessoas desta população, quantas se espera encontrar com sangue do tipo O? Explique as etapas que você seguiu para chegar à resposta. Indique o genótipo das pessoas do grupo sanguíneo O.

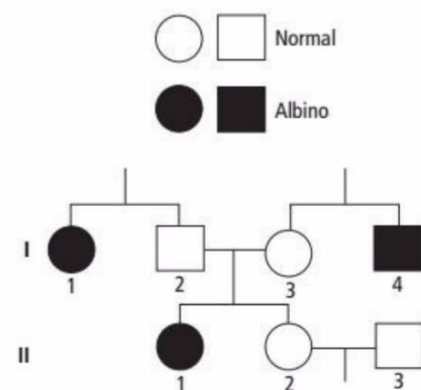
6. Faça uma pesquisa entre seus colegas da escola, verificando a porcentagem de indivíduos com lobo da orelha solto (fenótipo dominante) e a de indivíduos com lobo da orelha aderido (fenótipo recessivo), conforme mostram as fotos a seguir:



(a) Lobo da orelha solto e (b) aderido.

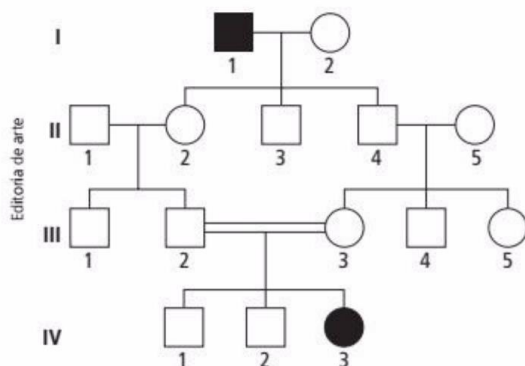
Com os dados obtidos, determine:

- a) a frequência de cada alelo.
 - b) a porcentagem teórica de indivíduos heterozigotos.
7. (Fuvest-SP) No heredograma a seguir estão representados indivíduos afetados pelo albinismo, que tem herança autossômica recessiva.



- a) Sabendo-se que, na população, a frequência de heterozigotos para o albinismo é $1/50$, qual a probabilidade de que o casal II-2 e II-3 tenha uma criança albina?
 - b) Se o primeiro filho desse casal for albino, qual a probabilidade de que a próxima criança do casal também seja albina?
8. (UFJF-MG) O alelo para calvície é influenciado pelo sexo, comportando-se como dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Numa população, a frequência de mulheres calvas é de 4%. Qual a frequência esperada de homens calvos na população? Mostre seus cálculos.

Consanguinidade, diversidade e preservação



A existência de um ascendente comum, com uma anomalia genética recessiva, possibilitou que os indivíduos III-2 e III-3, apesar de fenotipicamente normais, fossem portadores do mesmo alelo. O indivíduo IV-3 herdou esse alelo de cada um dos genitores, manifestando a doença. A raridade do alelo permite admitir, embora sem certeza, que os indivíduos I-2, II-1 e II-5 sejam homozigotos AA.

Endocruzamentos (ou **cruzamentos consanguíneos**) são os que ocorrem entre indivíduos que têm ancestrais comuns.

Entre a população brasileira, os cruzamentos entre primos são relativamente frequentes; bem menos comuns são casamentos entre tios e sobrinhos. Em artigo publicado em 2011¹, pesquisadores brasileiros investigaram a população de cinco municípios do Rio Grande do Norte e encontraram taxas de endocruzamento entre 9% e 32%. Entre os filhos de casais consanguíneos, 25% apresentavam alguma forma de deficiência; entre os filhos de casais não consanguíneos, as pessoas com deficiência eram 12%, valor mais próximo da taxa mundial estimada pela Organização Mundial da Saúde, que é de cerca de 10%. Os autores concluíram que a elevada prevalência de pessoas com deficiência pode estar associada com a manutenção da tradição de casamentos consanguíneos nessas populações, e que parte dessas deficiências pode ser causada por doenças genéticas.

O endocruzamento não aumenta a frequência de nenhum alelo, mas pode aumentar a probabilidade de expressão de doenças genéticas na descendência. Isso ocorre porque muitas pessoas podem possuir alelos deletérios em heterozigose, os quais causam doenças e são geralmente recessivos. Existem também alelos deletérios dominantes; entretanto, eles se manifestam nos heterozigotos, que não são normais.

Dois pessoas com ascendente comum têm maior probabilidade de receber dele os mesmos alelos deletérios recessivos. Se ambas forem heterozigotas para um alelo, há probabilidade de 25% de que um descendente do casal seja homozigoto recessivo e venha a apresentar a doença.

Dois pessoas com ancestralidades diferentes podem possuir alelos deletérios recessivos, mas dificilmente serão os mesmos; portanto, é muito reduzida a probabilidade de que seus filhos terão algum desses alelos em homozigose.

A importância da diversidade genética

Biólogos dedicados à ecologia procuram determinar o tamanho mínimo das populações para que as espécies não estejam ameaçadas de extinção por fatores ambientais. Porém, resta saber se apenas a existência de uma população numerosa garante a sobrevivência da espécie. E a resposta para esse questionamento é não. No Brasil, a perda da diversidade genética que acompanha a redução do tamanho das populações já é um risco para algumas espécies, como o mono-carvoeiro (*Brachyteles arachnoides*) e o peixe-boi (*Trichechus manatus*), ameaçados de extinção.

A perda do habitat e a redução do tamanho das populações transformam o conjunto gênico de uma população (conhecido pela expressão inglesa *gene pool*) em *gene puddle* (ou seja, uma pequena poça de genes). Então, mesmo que as populações recuperem o número de indivíduos, a diversidade genética já terá se perdido. No futuro, se as pressões da seleção natural mudarem, a espécie poderá não ter diversidade genética suficiente para gerar indivíduos adaptados às novas exigências ambientais e poderá se extinguir.

Quanto maior a diversidade genética de uma população, maiores são as chances de sucesso evolutivo. Em caso de mudanças ambientais, populações com maior variabilidade genética (isto é, maior número de alelos diferentes, determinando diversidade fenotípica) terão maior chance de apresentar alelos que respondam favoravelmente às mudanças da seleção natural.

O mono-carvoeiro, endêmico da Mata Atlântica, é uma das muitas espécies ameaçadas de extinção pela destruição do seu habitat. Encontra-se atualmente na lista vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN).



Patê Zuppani/Pulgar

¹SANTOS, S. C. et al. *Ciência & Saúde Coletiva*. n. 1 692, 2011.

A melhor solução para a redução da diversidade genética é, certamente, a preservação dos habitats para que nenhuma espécie fique ameaçada, e que toda a diversidade genética (ou, pelo menos, a maior parte dela) seja preservada. Entretanto, a população humana tem crescido tanto e se apropriado de tantos

recursos que, em muitos lugares da Terra, essa solução não é mais possível.

Se nós somos zeladores do planeta, e não apenas consumidores de seus recursos, proteger outras formas de vida e sua herança genética deve ser uma responsabilidade permanente.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. (UFBA) A existência do tabu do casamento consanguíneo tem sido constatada em quase todas as populações, nas diversas fases da história da humanidade. É razoável supor que esse tabu tenha se estabelecido a partir da observação de que a consanguinidade favorecia o aparecimento de anomalias. Hoje, sabe-se que os casamentos consanguíneos realmente aumentam a probabilidade do aparecimento de doenças genéticas. Por quê?
2. Leia a notícia a seguir:

"Isoladas", famílias judias da PB buscam reconhecimento

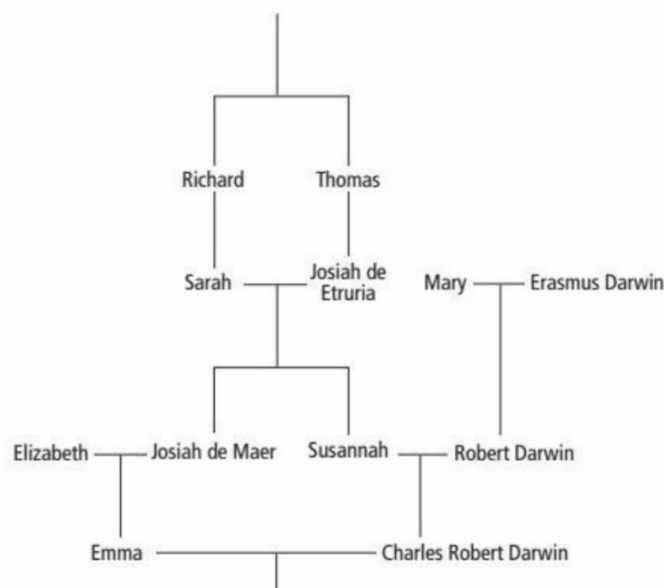
[...] 35 famílias da Paraíba ainda buscam reconhecimento de autoridades religiosas em Israel. Até agora sem sucesso. [...] Ao pesquisar as origens de sua família, Borges, 31, encontrou um antepassado judeu, convertido forçadamente ao catolicismo durante a inquisição na Península Ibérica. Conhecidos como "b'nei anussim", em hebraico, ou judeus ocultos, essas pessoas mantiveram a religião original em segredo. [...] "É uma história de 500 anos atrás, muito escondida, e é muito difícil ter uma continuidade completa", afirma o rabino Ruben Sternschein, da CIP [Congregação Israelita Paulista]. Um dos principais problemas dessa falta de reconhecimento é o casamento. Ao mesmo tempo em que os "b'nei anussim" não querem se casar com não judeus, também não conseguem casar com judeus tradicionais, já que não são reconhecidos como tais. Isso estimula casamentos internos no grupo. [...]

ROMAN, C. "Isoladas", famílias judias da PB buscam reconhecimento. *Folha de S. Paulo*, 8 dez. 2012. Disponível em: <[http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidiano/82612-isoladas-familias-judias-da-pb-buscam-reconhecimento.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/paywall/signup-columista.shtml?http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidiano/82612-isoladas-familias-judias-da-pb-buscam-reconhecimento.shtml)>. Acesso em: mar. 2016.

Depois de ler a notícia, responda às questões.

- a) Que evento genético pode estar associado a essa notícia?
 - b) Apresente as possíveis consequências desse evento e explique por que ocorrem.
3. Levando em conta o conceito de *pool gênico*, discuta do ponto de vista genético a importância das seguintes propostas de preservação de espécies ameaçadas de extinção:
 - a) Zoológicos e jardins botânicos.
 - b) Manutenção, entre ilhas de vegetação, de faixas que atuariam como corredores de passagem de animais de uma reserva para outra.

4. Charles Robert Darwin, considerado o pai das modernas ideias evolucionistas, pertencia a uma família com alguns casos de consanguinidade, como mostra o heredograma a seguir:



Editoria de arte

- a) Identifique, no heredograma, os casos de consanguinidade.

b) Considere que todas as pessoas citadas no heredograma fossem fenotipicamente normais, e que Josiah de Maer e Susannah possuísem certo alelo recessivo muito raro, causador de uma doença genética. Charles Robert Darwin e Emma tiveram 10 filhos. Qual seria a probabilidade de que o primeiro fosse afetado pela doença?

5. (Enade/MEC) Para preservar o muriqui ou mono-carvoeiro (*Brachyteles arachnoides*) e restabelecer essa espécie em áreas onde sua população extinguiu-se ou está ameaçada, poderá ser iniciado um programa de reprodução assistida. Os indivíduos selecionados para esse fim deverão ser animais: **Deletério = prejudicial, danoso, nocivo.**
 - a) muito aparentados, para evitar incompatibilidade entre o material genético dos doadores.
 - b) pouco aparentados, para evitar a ocorrência de mutações deletérias à espécie.
 - c) muito aparentados, para recompor totalmente a diversidade genética original da espécie.
 - d) pouco aparentados, para evitar a homozigose de alelos recessivos deletérios.**
 - e) pouco aparentados, para eliminar o excesso de diversidade genética no cativeiro.

Evolução

Ideias e evidências

NSP-RE/Alamy/Glow Images



Girafa (*Giraffa camelopardalis*) alimentando-se de arbustos no Quênia, África, 2013.



No futuro, os tolos seremos nós

Apesar de a girafa ilustrar a abertura deste capítulo, não falaremos do comprimento do pescoço destes mamíferos ao estudar a evolução biológica. E não falaremos por uma razão bem simples: o assunto não mereceu, por parte de naturalistas do porte de Lamarck ou Darwin, a atenção que recebe atualmente quando se fala de evolução.

De acordo com a ideia corrente, Lamarck acreditava que as girafas ancestrais esticavam o pescoço para alcançar as copas das árvores; assim, livravam-se da competição com outros herbívoros. De tanto ser esticado, o pescoço gradativamente foi crescendo, e essa característica adquirida transmitiu-se de geração a geração, até os dias atuais.

Já Charles Darwin, segundo a voz geral, afirmava que havia girafas de muitos tipos diferentes: girafas de pescoço curto, girafas de pescoço médio, girafas de pescoço longo. Essas últimas, capazes de comer as folhas das copas das árvores, sobreviveram e deixaram descendentes, também de pescoço longo.

Olhe novamente a fotografia da girafa.

Você já pensou no longo pescoço não como um equipamento de coletar folhas, mas como uma torre de observação, que permite ao animal detectar o perigo a distância? Já imaginou que as fêmeas podem achar muito atraente um macho de longo pescoço? Ou, ainda, que os longos pescoços são usados como armas pelos machos que lutam entre si pela conquista das fêmeas?

Pois é, tudo isso acontece! Machos chegam a morrer nos violentos combates travados a pescoçadas!

Olhe a fotografia mais uma vez e veja o que a girafa está fazendo.

Ela está se alimentando, e para isso curva-se para baixo com esforço. Afinal, a maioria das folhas está disponível perto do solo ou em arbustos não muito altos. Girafas habitam as savanas africanas, que são formações herbáceas, e assim se dispõe a vegetação nesse bioma. E a mesma dificuldade apresenta-se quando as girafas bebem água!

O francês Lamarck foi um naturalista brilhante, assim como o britânico Darwin. Porém, o primeiro passou para a história como um ingênuo, quase um tolo, enquanto o segundo

recebeu merecidamente glórias e reconhecimento. Em geral, é isso que acontece quando as ideias de artistas, cientistas, filósofos e outros pensadores são analisadas sem que se considere o contexto histórico em que as ideias foram geradas.

Do pensamento de Lamarck, talvez você se recorde apenas da lei do uso e desuso e da lei da transmissão de características adquiridas. É claro que hoje, à luz de conhecimentos mais recentes, esses conceitos parecem até grotescos. O que talvez você não saiba é que Darwin também acreditava nisso, por uma simples e boa razão: na segunda metade do século XIX, não havia explicação melhor!

Quando superficial e mal contada, a história da ciência pode tornar-se repleta de situações como esta: cientistas vencidos e cientistas vencedores, ingênuos e espertos, preguiçosos e esforçados, mediocres e geniais. Daqueles que a história fez perdedores, lembramos os erros e o fracasso; dos vencedores, destacamos as conquistas e o sucesso.

John Needham, Jan Batista van Helmont, Jean-Baptiste Lamarck e Felix Pouchet são alguns exemplos de “perdedores”, embora tenham contribuído para o progresso da ciência. Essa abordagem é inadequada para a compreensão do verdadeiro papel da ciência e de como se produz o conhecimento científico. Não há vencedores e vencidos, simplesmente porque todos erram. A ciência elabora modelos que procuram explicar fenômenos e fazer previsões. Contudo eles são falseáveis, ou seja, podem ser questionados e precisam ser substituídos.

Algumas das nossas mais sólidas certezas estão colocadas em xeque com ajuda dos dados obtidos pelas pesquisas genômicas. A partir desses dados, a concepção clássica do gene como unidade da hereditariedade está perto de ser reformada ou abandonada; os mecanismos de controle do desenvolvimento embrionário estão sendo revistos; e a macroevolução ganha componentes inesperados e surpreendentes.

O economista britânico John Maynard Keynes afirmou que “no longo prazo, só há duas certezas: estaremos todos mortos e estaremos todos errados”¹.

Diante disso, como saber quem serão os tolos do futuro?

¹ Apud KRUGMAN, P. *Folha de S.Paulo*, 2 maio 2011.

Até o século XIX, manteve-se em evidência a ideia de que os seres vivos foram criados todos ao mesmo tempo, totalmente integrados ao ambiente em que vivem e tendo permanecido inalterados desde então. O **fixismo** teve ilustres defensores, como o sueco Carolus Linnaeus (1707-1778) e o francês Georges Cuvier (1769-1832).

Porém, já vinham de muito tempo as ideias sobre os processos de permanente modificação dos seres vivos, e alguns dos seus defensores foram os filósofos gregos Anaximandro (610 a.C.-547 a.C.), Empédocles (490 a.C.-430 a.C.) e Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.).

Em meados do século XVIII, o naturalista francês Georges Leclerc (conde de Buffon) afirmou que os animais deveriam sofrer modificações com o tempo, pois só assim seria possível explicar os achados fósseis, que mostravam formas diferentes das atuais. Buffon defendia a existência, em cada ser vivo, de um “molde interno” que poderia se alterar, de acordo com as exigências ambientais, convertendo um tipo de ser vivo em outro. Assim, felinos ancestrais teriam originado tigres, leopardos e outros felinos atuais, porque teriam ocupado ambientes diferentes.

Descobertas geológicas do final do século XIX e do início do século XX passaram a deixar claro, entre outras coisas, que a Terra passa por intensas e permanentes mudanças de relevo e de clima. O geógrafo alemão Alfred Wegener (1880-1930), por exemplo, demonstrou que os continentes deslocam-se lentamente, em placas tectônicas apoiadas sobre o magma pastoso. Cristalizava-se a noção de um planeta dinâmico, levando alguns naturalistas a pensar na possibilidade de a vida ter sido afetada pelas mudanças ambientais. Firmava-se a noção de que os seres vivos evoluíam, adaptando-se de forma contínua e dinâmica ao meio. Essa hipótese é conhecida como **evolucionismo**.

Lamarck: a evolução é um impulso interior

Os trabalhos de Jean-Baptiste de Monet (cavaleiro de Lamarck, 1744-1829) tiveram papel fundamental para consolidar a ideia de que os seres vivos evoluem. Em 1809, Lamarck publicou uma obra sobre a evolução biológica, **Filosofia zoológica**, mal recebida na época, mas que teve grande importância na história da Biologia. Outro trabalho importante de Lamarck foi a **História natural dos animais invertebrados**, em que, pela primeira vez, os animais foram classificados em vertebrados e invertebrados.

Como a maioria dos naturalistas da época, Lamarck acreditava na **geração espontânea**. Segundo ele, os seres vivos muito simples surgiriam permanentemente e se converteriam em seres cada vez mais complexos. Portanto, Lamarck tratava a evolução como avanço ou progresso, hipótese que trazia a tendência de organizar os seres vivos em cadeias evolutivas lineares, do simples para o complexo.

Lamarck considerava a evolução predominantemente como o resultado de fatores próprios do organismo. Seu pensamento evolucionista baseava-se na premissa de que os seres vivos teriam um **impulso interior** capaz de permitir a adaptação ao ambiente. Desde

que pressionados por alguma necessidade ambiental, os seres vivos seriam capazes de adotar novos hábitos de vida, utilizando algumas partes do corpo com mais intensidade que outras. Assim, órgãos mais utilizados se desenvolveriam, enquanto os menos usados se atrofiariam ou chegariam a desaparecer (**uso e desuso**).

Não foi Lamarck o primeiro a defender que as mudanças ocorridas nos seres vivos durante a vida seriam transmitidas pela reprodução aos descendentes (ou seja, a **transmissão das características adquiridas**). Na verdade, tratava-se da crença geral na época. Lamarck aplicou esse princípio às alterações decorrentes do uso e desuso.

Resumindo, os aspectos fundamentais do lamarckismo são:

- a **geração espontânea**;
- o **impulso interno** dos seres vivos para a evolução;
- o processo evolutivo como **sequência linear**;
- o **uso e desuso**;
- a **transmissão de características adquiridas**.

Darwin: a seleção natural direciona a evolução

Embarcado como naturalista a bordo do [navio] H.M.S. Beagle, marcaram-me profundamente a distribuição dos seres vivos que habitam a América do Sul [...] e as relações geológicas existentes entre os habitantes do presente e os do passado, naquele continente. Estes fatos pareciam lançar alguma luz na origem das espécies — o “mistério de mistérios”, como foi chamado por um de nossos maiores filósofos.

DARWIN, C. A origem das espécies, 1859.

Com todos os méritos, **Charles Robert Darwin** (1809-1882) é considerado um dos mais influentes estudiosos da Biologia. Algumas de suas ideias destacam-se e justificam a importância dedicada a esse naturalista britânico:

- a **evolução** como um processo incontestável;
- a **ancestralidade comum** de todos os seres vivos;
- a **descendência com modificação**;
- o papel fundamental do **ambiente**;
- o conceito de **seleção natural**.

Na véspera do Natal de 1831, Darwin integrou-se em uma expedição para viajar ao redor do mundo, a qual duraria cerca de cinco anos. No caminho, ele coletou espécimes para estudo e fez numerosas anotações, que serviram de base para o desenvolvimento de suas ideias.

Na costa do Equador, a expedição fez escala no arquipélago de **Galápagos**, onde Darwin estudou com particular interesse as tartarugas terrestres gigantes e numerosas espécies de aves do grupo dos fringídeos (**figura 1**). Observando esses pássaros, Darwin notou diferentes adaptações, principalmente em relação ao bico e ao tipo de alimento que consumiam.

Figura 1. (a) *Geospiza conirostris*, espécie com bico largo e forte, que se alimenta de sementes. (b) *Geospiza difficilis*, dotada de bico mais alongado, que complementa sua dieta de sementes com polpa de cacto ou flores. (c) *Camarhynchus pallidus*, que utiliza um graveto ou espinho de cacto, com que desaloja das plantas os insetos dos quais se alimenta.



Darwin retornou à Inglaterra com a convicção de que os seres vivos se modificam, adaptando-se ao ambiente. Durante cerca de 20 anos, organizou suas anotações, elaborando possíveis explicações para os mecanismos de adaptação dos seres vivos. Estava às voltas com essa questão quando lhe chegou às mãos o livro **Um ensaio sobre populações**, em que o autor, Thomas Malthus, afirmava que a população humana crescia em progressão geométrica, enquanto a produção de alimentos crescia em progressão aritmética, ou seja, a população tinha ritmo de crescimento maior que o da produção de alimentos. Ainda de acordo com Malthus, chegaria um tempo em que haveria uma população muito grande para a quantidade disponível de alimentos (**figura 2**).

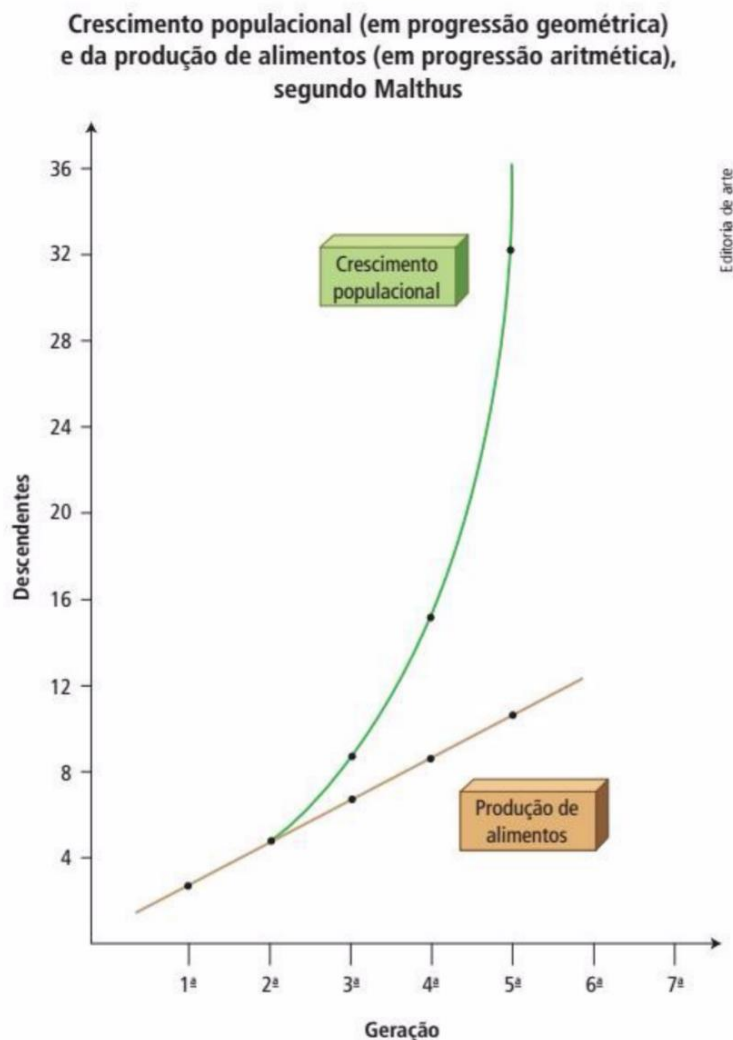


Figura 2. Crescimento populacional (em progressão geométrica) e da produção de alimentos (em progressão aritmética), segundo Malthus.

Essas ideias fizeram Darwin supor que, nas circunstâncias propostas por Malthus, ocorreria uma intensa luta pela sobrevivência. Também percebeu que, embora houvesse a tendência de as populações das espécies selvagens aumentarem, tal tendência não se consumava, e essas populações se mantinham numericamente estáveis.

Darwin argumentou que, dentro de cada espécie, ocorre grande diversidade, ou seja, os indivíduos são diferentes uns dos outros; essa diversidade é transmitida e vai se acentuando ao longo de gerações (descendência com modificação). Em cada grupo, indivíduos que apresentam características que conferem vantagens para a vida no ambiente sobrevivem, enquanto indivíduos que não apresentam características adaptativas tendem a ser eliminados. A esse processo, Darwin chamou de seleção natural.

Suas ideias eram compartilhadas apenas com poucas pessoas, até que, em 1858, Alfred R. Wallace enviou cópia de um trabalho a Darwin solicitando sua apreciação. Quando Darwin o leu, percebeu que as ideias de Wallace sobre evolução das espécies eram muito semelhantes às suas. Os dois publicaram conjuntamente seus trabalhos em uma mesma revista científica, sem despertar a atenção dos leitores. A partir de então, Darwin iniciou a produção de sua maior obra, **A origem das espécies**, publicada em 1859.

Uma das grandes críticas à obra de Darwin foi a falta de exemplos concretos e atuais de evolução. Outro motivo de críticas foi a ausência de uma explicação convincente sobre as causas da diversidade intraespecífica. Apenas no início do século XX, com a redescoberta dos trabalhos de Mendel e os conhecimentos a respeito da variabilidade genética (inclusive sobre mutações), as ideias de Darwin puderam ser mais bem explicadas.

A nova síntese

A seleção natural é uma peneira, não um escultor.

Stephen Jay Gould (1941-2002), paleontólogo, biólogo evolucionista e ensaísta norte-americano.¹

Entre os pesquisadores que se destacaram na fundamentação e no desenvolvimento da **teoria sintética da evolução** (ou **neodarwinismo**) estão Hugo de Vries (1848-1935), Thomas Morgan (1866-1945), J. B. S. Haldane (1892-1964), Theodosius Dobzhansky (1900-1975) e Ernst Mayr (1904-2005).

Os fundamentos da teoria sintética associam os processos genéticos da **hereditariedade** e das **mutações** ao conceito darwiniano de **seleção natural**:

- Seres vivos de uma mesma espécie apresentam **diversidade intraespecífica**, isto é, diferem entre si em aspectos como acuidade visual, cor, tamanho, resistência a doenças e outros. A variabilidade genética de uma espécie é determinada pelas **mutações**, pela **recombinação genética** (proporcionada pela segregação independente dos cromossomos homólogos e pelas permutações), pela deriva gênica e pelo fluxo gênico.
- O ambiente atua sobre a diversidade intraespecífica, selecionando os mais adaptados, que sobrevivem e se reproduzem. Esse processo é denominado **seleção natural**.

Atividade prática

Evolução – Seleção natural

Objetivo

- Compreender como as adaptações interferem na sobrevivência e perpetuação das espécies.
- Representar parte do que foi observado por Darwin nos tentilhões das ilhas Galápagos, levando-o a criar a Teoria da Evolução.

Materiais

- potinho plástico (ou copinho para café)
- bandeja de plástico
- pratos descartáveis
- tesouras sem ponta
- alicates de unha
- pinças de sobancelha
- prendedores de roupa
- sementes de vários tipos (milho, feijão, *flamboyant*, girassol, alpiste, arroz, gergelim, sementes de flores e legumes vendidas em mercados etc.)



Procedimentos

- Misturem todas as sementes trazidas pela classe na bandeja.
- Formem grupos de quatro alunos.
- Cada grupo deve escolher um dos instrumentos (tesoura, alicate, pinça ou prendedor), que representará o bico de uma ave. Todos os membros do grupo devem ter o mesmo instrumento.

- Cada grupo deve receber um prato descartável com as sementes misturadas.
- Ao sinal, cada aluno, com seu “bico”, deverá pegar o maior número e variedade de sementes que conseguir durante dois minutos e colocá-las em um potinho plástico.
- Ao final do tempo, cada grupo deve montar uma tabela para registrar o número e a variedade de sementes que cada “bico” conseguiu pegar.
- Os resultados de cada grupo devem ser disponibilizados para a classe.
- Os grupos devem analisar os dados e fazer o que se pede nos itens abaixo.

Resultados e discussão

Escreva
no caderno

- Observe os dados da tabela e faça uma análise dos resultados obtidos levando em consideração os tipos de “bico” e a variedade de sementes que conseguem obter.
- Se considerarmos que a área onde viviam aves com esses tipos de bico fosse degradada, diminuindo a diversidade de espécies vegetais, quais pássaros teriam maior chance de sobreviver? E quais teriam menor chance? Explique.
- Que relação pode ser estabelecida entre a atividade realizada e as observações de Darwin durante sua viagem às ilhas Galápagos? Que processo está relacionado com a sobrevivência dos organismos mais adaptados ante as mudanças ambientais?

Fonte das informações: Centro de divulgação científica e cultural — USP, Experimentoteca.

¹ GOULD, S. J. **The book of life**. New York: W. W. Norton, 1993. (Tradução nossa.)

O que é a evolução?

Diante de variações ambientais, os seres vivos apresentam ajustes fisiológicos que mantêm a **homeostase**. Nos seres humanos, por exemplo, a pele exposta a raios solares produz mais melanina, tornando-a mais escura e aumentando a proteção contra a radiação ultravioleta. De forma análoga, vários meses de atividade física intensa aumentam a massa muscular, aumentando-se a força física de um indivíduo. As pessoas que desenvolvem essas alterações não as transmitem aos descendentes, pois o material genético não se modificou.

Certas características de uma espécie são determinadas geneticamente e podem ser transmitidas aos descendentes. Os membros das focas, por exemplo, funcionam como nadadeiras; os caninos pontiagudos perfuram a carne de peixes; a espessa camada de gordura sob a pele é isolante térmico e reserva energética, além de facilitar a flutuação. Pode-se afirmar que, com essas e outras características, as focas estão adaptadas a seu ambiente e a seu modo de vida.

A **adaptação** é o ajuste de uma espécie ao ambiente, possibilitada por um conjunto de características que permitem a sobrevivência e a reprodução (**figura 3**). Entendida como o conjunto de **mudanças cumulativas** que ocorrem em uma população, a evolução relaciona-se com a adaptação dos seres vivos aos ambientes em que vivem.



Figura 3. Com características bem evidentes, essas aves estão adaptadas ao ambiente e ao modo de vida. As longas pernas dos flamingos permitem que eles caminhem sobre o fundo dos leitos de água; os bicos revolvem o lodo, em busca de alimento; as penas são isolantes térmicos, além de fundamentais no voo.

As variações adaptativas aumentam a probabilidade de sobrevivência e de reprodução em determinado hábitat ou nicho ecológico. Os seres vivos adaptados têm maior probabilidade de sobreviver e de gerar descendentes, que herdarão suas características. Assim, a seleção natural estabelece uma **taxa diferencial de reprodução**.

A evolução também pode ser vista como o conjunto de mudanças progressivas das frequências dos alelos nas populações. Mutações acrescentam alelos ao *pool* gênico das espécies; a segregação independente e as permutações recombinam esses alelos e aumentam a variabilidade. A seleção natural tende a eliminar os indivíduos não adaptados, diminuindo a variabilidade genética (**figura 4**).

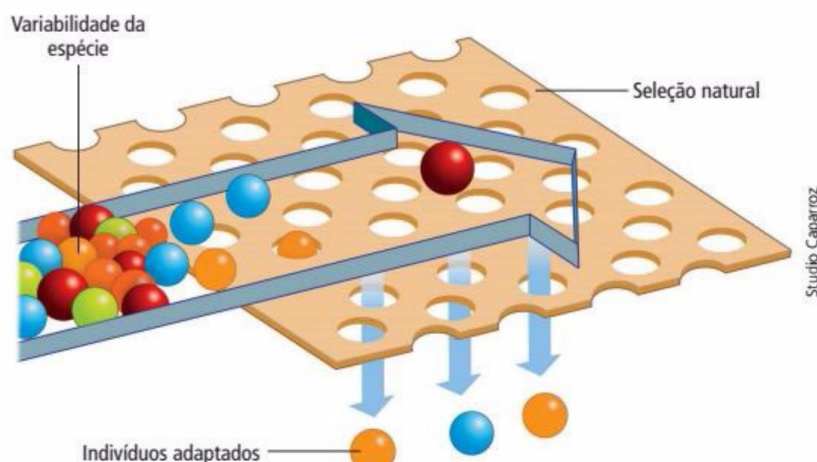


Figura 4. Representação esquemática de um modelo da ação da seleção natural.

A palavra **evolução** é usada com os mais diversos significados. Na economia, na moda, na música ou na vida escolar, enfim, em diferentes contextos, evoluir pode significar progredir, melhorar, avançar em busca de um objetivo. Em Biologia, evolução não tem esse sentido e não decorre de um projeto preconcebido: evolução significa mudança.

Partindo de uma situação hipotética: entre os peixes de certa espécie que habita um riacho, existe **variabilidade**: alguns são maiores que outros, alguns possuem o olfato mais aguçado, alguns têm coloração mais vistosa, alguns são mais velozes. Em determinada época, as margens do riacho começam a sofrer um forte processo erosivo e a desbarrancar. Consequentemente, aumenta a quantidade de sedimentos carregados pela água, que vai progressivamente tornando-se mais turva. Com isso, a visão dos peixes é prejudicada, e a procura por alimento torna-se mais difícil.

Peixes com o olfato mais aguçado passam a utilizar preferencialmente esse sentido na captura de alimentos, conseguem reproduzir-se e geram descendentes, que recebem suas características herdáveis (inclusive o olfato apurado). No prazo de algumas gerações, essa característica passa a predominar na população.

Não foi a turbidez da água que determinou o aparecimento de peixes com olfato mais sensível. Eles já existiam na população, como resultado da variabilidade genética. A mudança ambiental atuou como um novo critério de **seleção natural**, permitindo a sobrevivência de um grupo de peixes, enquanto os demais, incapazes de obter alimentos, acabaram morrendo em maior número, não atingindo a idade reprodutiva e, portanto, gerando menos descendentes.

Estabeleceu-se uma **taxa diferencial de reprodução**, favorável aos peixes com olfato apurado. A espécie passou por uma mudança na composição genética: deve ter havido aumento da frequência dos alelos responsáveis por olfato sensível.

A variabilidade genética, que resulta de alterações casuais (aleatórias ou randômicas) do material genético, passa pelo processo de seleção natural. O ajustamento entre as características fenotípicas dos indivíduos e as exigências ambientais em determinado momento, que permitem a sobrevivência e a reprodução dos portadores dessas características, chama-se **adaptação**.

Embora a variabilidade genética tenha causas aleatórias, a seleção natural não é aleatória e atua sobre a diversidade preexistente. A sobrevivência de alguns não é uma mera casualidade, mas decorre da presença de características adaptativas. Os organismos adaptados não passam a predominar por acaso, mas porque possuem vantagens sobre os outros membros da espécie.

Uma espécie evolui quando, em certo período de tempo, sofre alteração na frequência de determinados alelos, e esse fenômeno é conhecido por **microevolução** (figura 5).

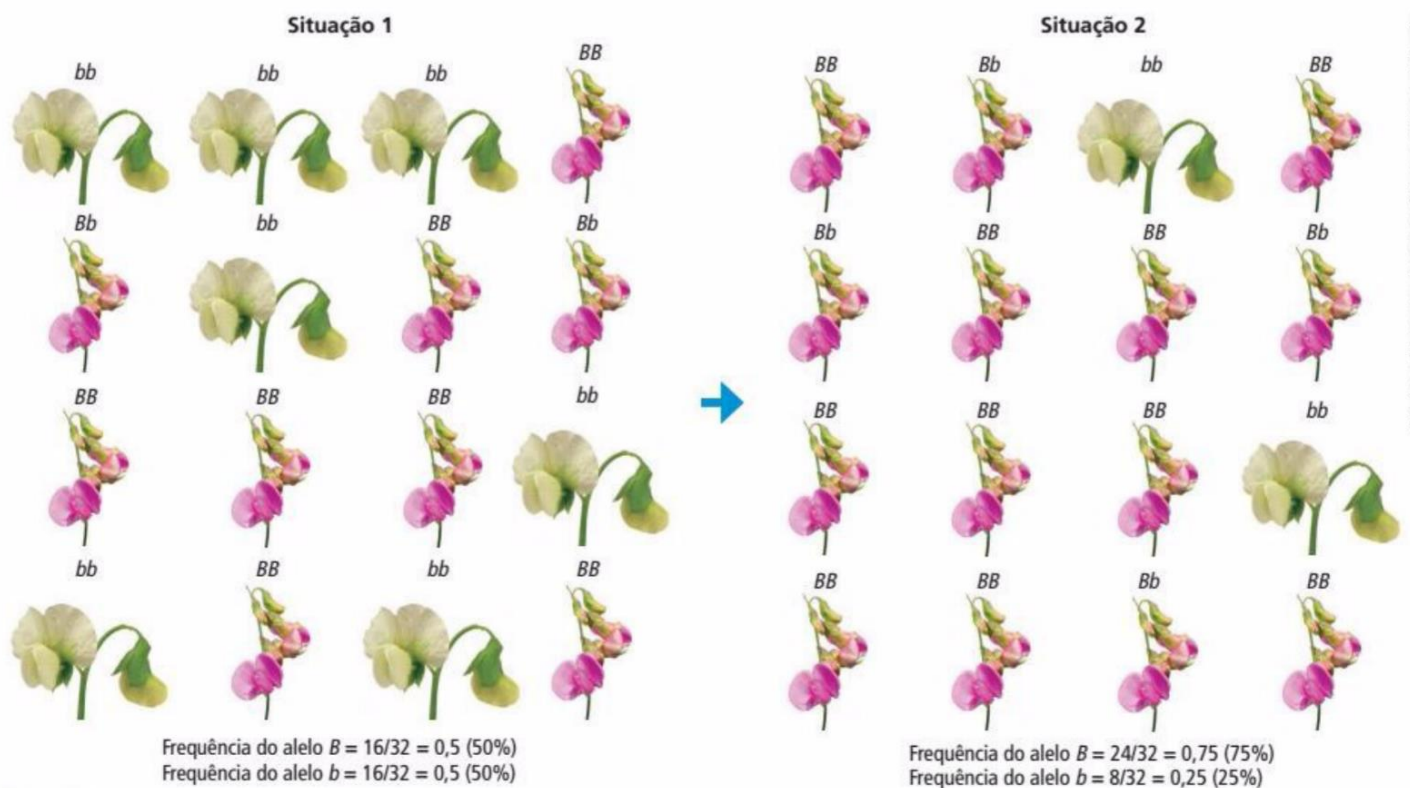


Figura 5. Modelo de microevolução: as frequências dos alelos B e b modificaram-se da situação 1 para a situação 2.

Já a **macroevolução** envolve alterações que resultam em diferenças mais significativas e podem resultar, por exemplo, no surgimento de novas espécies (figura 6).

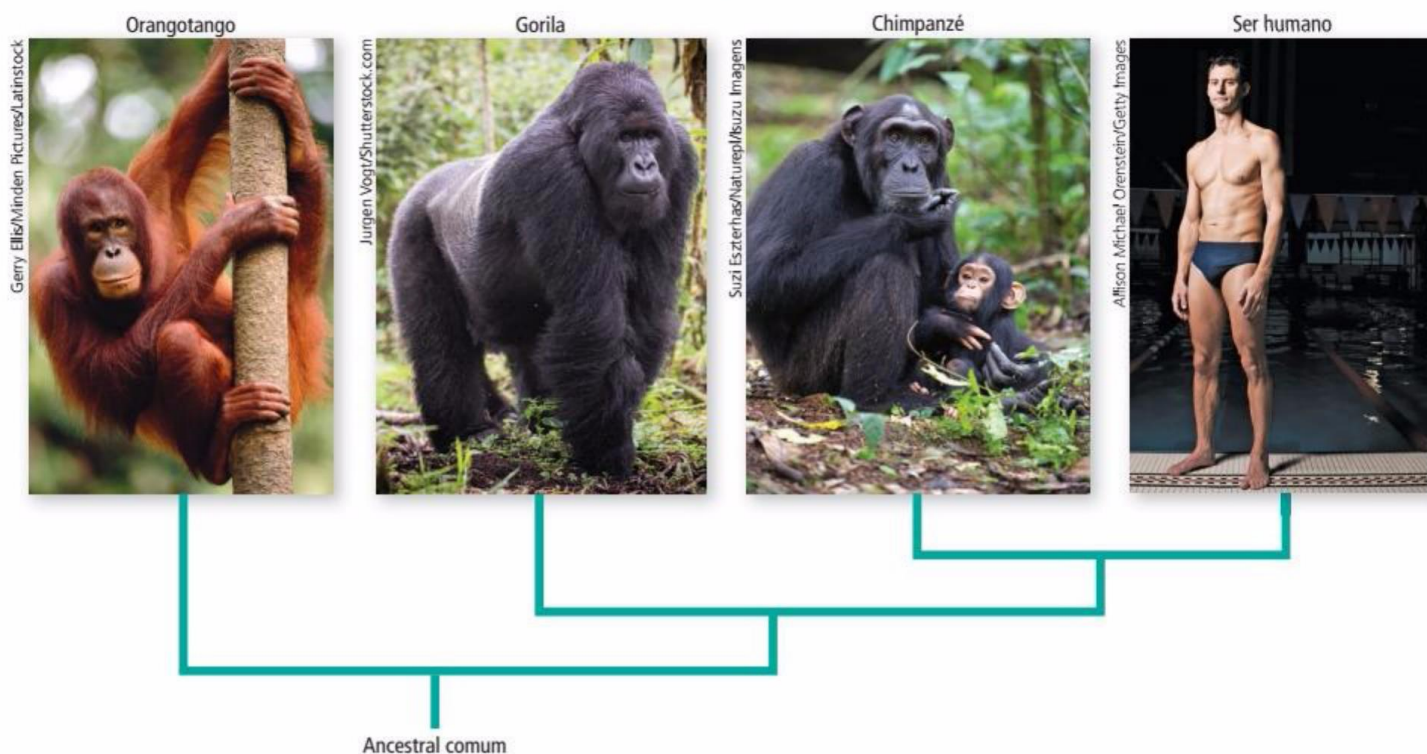


Figura 6. Modelo de macroevolução: possível surgimento de novas espécies, a partir de ancestrais comuns.

A notícia

Quando as moscas-das-frutas ficam doentes

Uma pesquisa da North Carolina State University e do Reed College mostrou que, quando moscas-das-frutas (ou drosófilas, da família *Drosophilidae*) são atacadas por bactérias ou parasitas, elas geram descendentes com maior variabilidade genética. Esta variabilidade extra pode dar à prole maior chance de sobreviver se exposta aos mesmos patógenos. O resultado da pesquisa demonstra que os pais podem alterar “propositadamente” os genótipos dos filhos.

Os gametas de drosófilas são haploides, ou seja, possuem apenas uma cópia de cada cromossomo. [...] Em condições normais, para um certo par de homólogos, cada descendente tem 25% de probabilidade de receber a cópia materna, 25% de receber a cópia paterna e 50% de

receber um cromossomo recombinante [que sofreu *crossing-over*].

Já em condições ambientais desfavoráveis (por exemplo, diante da presença de parasitas), pode ser vantajoso ter filhos com mais cromossomos recombinantes. Por terem novas combinações de alelos, os descendentes têm mais chance de tolerar as novas condições.

[Os pesquisadores] queriam entender que estratégias as drosófilas desenvolveriam quando infectadas por bactérias ou atacadas por vespas parasitas. Os cientistas expuseram drosófilas a duas espécies diferentes de bactérias patogênicas e a vespas da espécie *Leptopilina clavipes*, que deposita os ovos nas larvas das mosquinhas.

Publicados na revista **Science**, os estudos mostraram resultados surpreendentes. Fêmeas sobreviventes de ataques de bactérias ou de vespas produziram mais descendentes com cromossomos recombinantes. Em outras palavras, essas fêmeas foram capazes de produzir uma prole geneticamente mais diversificada.

“Esse é um exemplo de ‘distorção da transmissão’. Algo informa às moscas que elas devem produzir mais filhos recombinantes do que seria normalmente esperado”, diz [um dos cientistas]. “Gerando uma prole com maior variabilidade genética, as fêmeas ‘aumentam a aposta’ em ter pelo menos alguns descendentes capazes de resistir ao ataque biológico”. [...]

NC State University News, 13 ago. 2015. Disponível em: <<https://news.ncsu.edu/2015/08/singh-fruit-fly>>. Acesso em: abr. 2016. (Tradução nossa.)

Atividades

Escreva
no caderno

Depois de ler a notícia, faça o que se pede:

1. Em uma primeira análise, essa notícia admite uma interpretação “lamarckista”. Qual é essa interpretação?
2. Forneça uma explicação compatível com as modernas teorias a respeito da evolução dos seres vivos.

Exemplos de microevolução

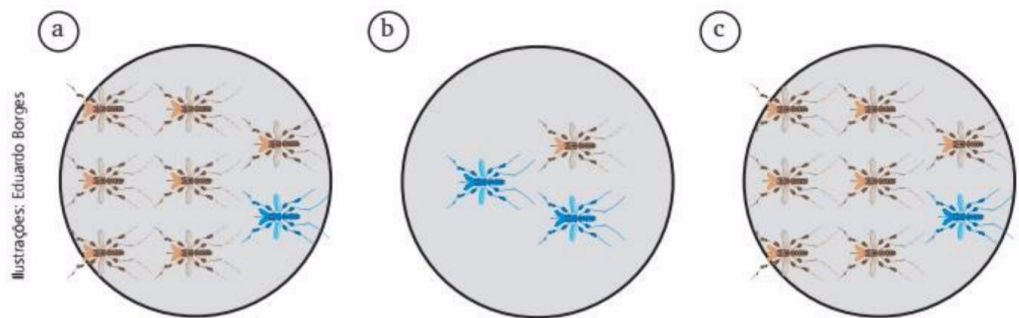
As mudanças lentas e graduais decorrentes do acúmulo de variações adaptativas dentro das espécies constituem a microevolução, que pode ser exemplificada por diversos casos bem estudados. Embora sustentados por renomados estudiosos da Biologia, alguns exemplos ainda têm sido questionados, mas permanecem com poderoso efeito didático.

Insetos e inseticidas

O DDT (diclorodifeniltricloroetano) é um inseticida que começou a ser usado em larga escala na Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, causava a morte da quase totalidade dos insetos que combatia; depois de algum tempo, contudo, a eficácia do inseticida diminuiu. Os insetos que morriam eram sensíveis, e os que sobreviviam eram resistentes.

Os insetos sensíveis e resistentes diferiam geneticamente: ser resistente ou não ao DDT depende de genótipos diferentes, e o DDT foi o agente de seleção. Apenas os indivíduos resistentes ao DDT sobreviveram, tratando-se de um caso de seleção natural decorrente de ação humana (figura 7).

Figura 7. (a) Previamente, havia insetos sensíveis (em marrom) e insetos resistentes (em azul), mesmo antes do início das pulverizações. (b) O DDT eliminou indivíduos sensíveis, permitindo a sobrevivência dos resistentes, que se reproduziram e (c) passaram a predominar na população. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)



Bactérias e antibióticos

Um antibiótico pode perder a eficácia no combate a bactérias, principalmente se usado de forma inadequada. Ocorre seleção de bactérias resistentes, surgidas por mutações espontâneas em meio a bactérias sensíveis. As bactérias resistentes sobrevivem na presença do antibiótico, multiplicam-se e passam a predominar no grupo. Um exemplo: no fim da década de 1980, verificou-se um aumento do número de casos de tuberculose em vários países, causado por bactérias resistentes à maioria dos antibióticos habitualmente empregados.

O uso inadequado de antibióticos seleciona bactérias multirresistentes, dificultando o tratamento das doenças infecciosas. As infecções hospitalares, adquiridas por pessoas internadas, são provocadas geralmente por bactérias multirresistentes.

Melanismo industrial

Um exemplo clássico de seleção ocorreu com as mariposas da espécie *Biston betularia* (figura 8). Em bosques da Inglaterra, antes da Revolução Industrial, predominavam mariposas claras; as escuras raramente eram encontradas. Após a Revolução Industrial, a situação se inverteu, ocorrendo abundância de mariposas escuras.

Em decorrência do hobby de colecionar insetos, muito comum na Inglaterra, foi possível acompanhar a transformação da população de mariposas ao longo de décadas.

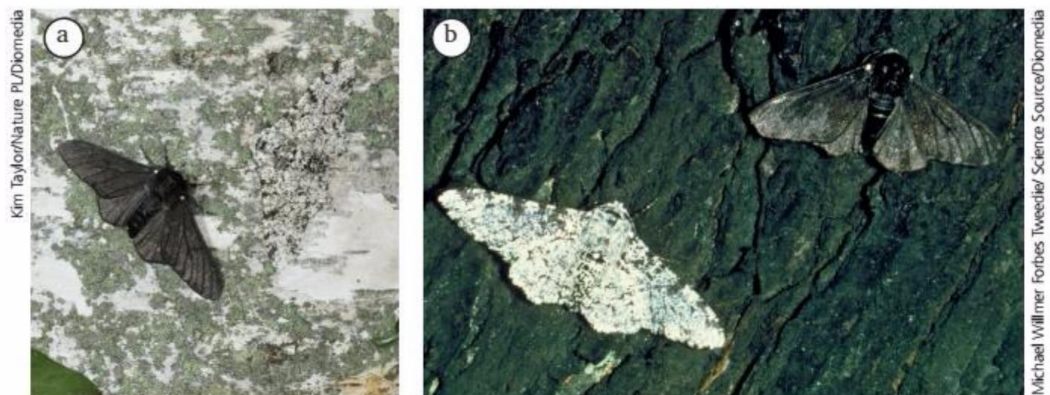


Figura 8. (a) Antes da industrialização, os troncos de árvores ficavam cobertos de líquens e tinham cor clara. As mariposas de cor clara, que existiam em maior número, confundiam-se com a cor dos troncos, ficando menos visíveis que as de cor escura, que se destacavam e eram facilmente capturadas pelas aves. (b) Com a poluição industrial, os líquens foram eliminados e os troncos ficaram cobertos de fuligem negra, favorecendo as mariposas de cor escura (difícilmente capturadas pelas aves), cuja população aumentou. As mariposas de cor clara, bastante visíveis, tornaram-se raras porque eram facilmente capturadas.

Um mundo de evidências

São numerosos os enigmas e as lacunas do registro fóssil da vida terrestre. Os paleontologistas muitas vezes empregam analogias com seres vivos atuais para deduzir o hábitat ou as estratégias de vida de organismos extintos. Embora, às vezes, esse método seja inevitável, a melhor prova de que existiram plantas e animais primitivos são exemplares fósseis bem preservados. [...] Todas as hipóteses sobre a ecologia e a história evolutiva da vida devem ser testadas pelas provas encontradas nas rochas.

SLATKIN, M. (Ed.). *Exploring evolutionary biology*. Sunderland: Sinauer, 1995. (Tradução nossa.)

No Grand Canyon, longo e profundo vale escavado pelo rio Colorado, nos Estados Unidos, há uma incrível quantidade de fósseis bem preservados (figura 9). Em suas margens, existem camadas de rochas de milhões de anos; em geral, as camadas superficiais são mais recentes, e as de maior profundidade são mais antigas. Será que os fósseis encontrados nas camadas superiores são iguais aos encontrados nas camadas inferiores?

Esse assunto foi abordado pelo naturalista britânico David Attenborough (1926-), na interessante descrição de um passeio pelo Grand Canyon.



Figura 9. Grand Canyon, escavado pelo rio Colorado, no Arizona, EUA, 2013.

Uma mula poderá levá-lo, num passeio fácil de um dia, desde a borda até o fundo do Canyon. As primeiras rochas que passarem já terão duzentos milhões de anos. Nelas não há vestígio de mamíferos ou aves, mas existem traços de répteis. [...]

A meio caminho, descendo o Canyon, passará por rochas calcárias de quatrocentos milhões de anos. Nelas não há répteis, mas verá silhuetas de estranhos peixes blindados. Uma hora e pouco mais tarde — e um milhão de anos mais cedo — as rochas não apresentam sinais de vertebrados de nenhum tipo, apenas umas poucas conchas e alguns vermes que deixaram atrás de si uma escultura de rastros no que era então um lamacento fundo de mar. Com três quartos do caminho percorridos, ainda estará passando por camadas de pedra calcária, agora sem nenhum vestígio de vida.

No fim da tarde, atingirá finalmente o desfiladeiro do vale do rio Colorado, que corre muito verde entre as paredes rochosas. Você agora está a um quilômetro e meio a prumo da borda do Canyon; as rochas que aqui se encontram foram datadas com a incrível idade de dois bilhões de anos. Nelas deveriam encontrar-se fósseis marcando o início da vida na Terra; no entanto, as rochas escuras, de textura fina, não contêm restos orgânicos de nenhum tipo e se apresentam não em estratos horizontais, como todas as anteriores, mas em camadas irregulares, retorcidas, marcadas por veios de granito róseo.

ATTENBOROUGH, D. *A vida na Terra*. São Paulo: Martins Fontes, 1975.

Depois da leitura do texto de David Attenborough, peça aos alunos que discutam estas questões:

1. Certos trechos do texto indicam claramente que, à medida que recuamos no tempo, passamos a encontrar seres vivos cada vez mais simples. Destaque alguns desses trechos.
2. Pela descrição, pode-se perceber que os seres vivos mais complexos, como os mamíferos e as aves, são relativamente recentes. Justifique essa afirmativa com base em dados apresentados pelo autor.

Os **fósseis** constituem um dos mais importantes objetos de estudo da **Paleontologia** (do grego *palaíos*, antigo; *ontos*, ser; *logos*, estudo).

Quando um animal morre, em geral suas partes moles (músculos, vísceras, nervos) são devoradas ou consumidas por decompositores. Normalmente, restam as partes duras, como ossos, cornos, cascos e dentes. Se ficarem expostas, com o tempo serão totalmente degradadas; no entanto, sob determinadas condições, vestígios e restos de seres vivos podem ser preservados na forma de fósseis. Excepcionalmente, partes moles podem se fossilizar como “moldes” em sedimentos, independentemente da persistência de estruturas rígidas, como ossos.

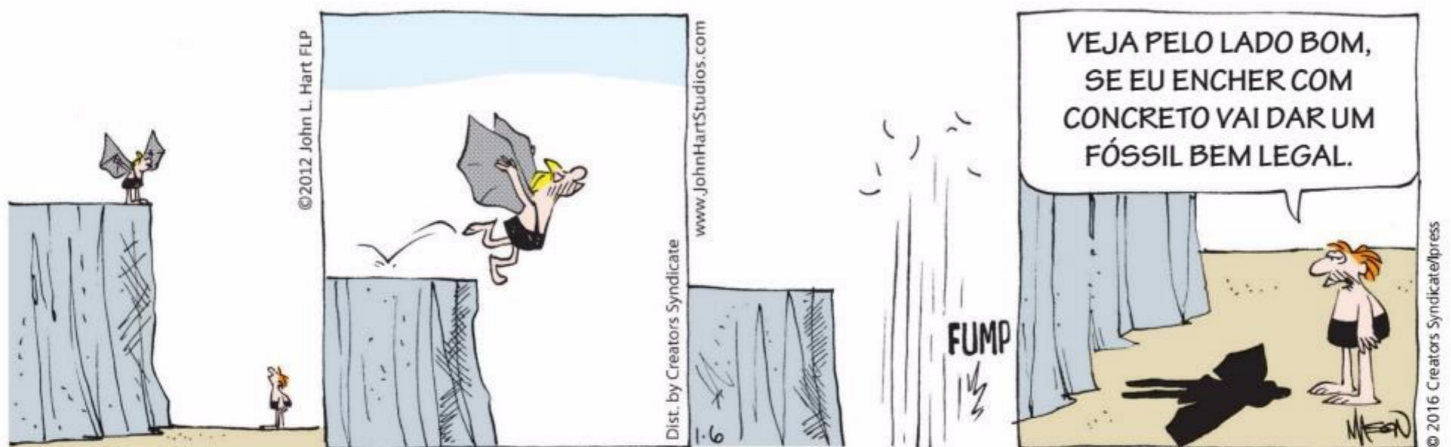
Vestígios são as marcas deixadas por animais, como pistas ou pegadas; **restos** são partes de seres vivos que foram preservadas. Em geral, conservam-se as partes duras, mas há situações em que mesmo as partes moles são preservadas, como é o caso de mamutes presos no gelo ou de insetos em âmbar (**figura 10**).

Âmbar é resina fossilizada, geralmente originária de gimnospermas ou de leguminosas do Eoceno (há cerca de 40 milhões de anos).



Figura 10. O registro fóssil da vida na Terra é incompleto e tem lacunas que dificultam o estabelecimento de linhas evolutivas contínuas entre os seres primitivos e os atuais. Em (a), pegada fóssil em Zhucheng, leste da China. Em (b), fóssil de angiosperma já extinta. Em (c), inseto preso em âmbar.

É inegável que novos e permanentes quebra-cabeças são colocados diante dos cientistas. As árvores evolutivas construídas com base em diversas fontes de informações (análises de fósseis, bioquímicas e genéticas) mostram-se algumas vezes conflitantes, expondo o grande desafio de catalogar as espécies descobertas e propor hipóteses sobre a evolução da vida na Terra.



B.C. de Johnny Hart

▶ Meia-vida e contagem do tempo

Uma etapa importante no estudo dos fósseis é a determinação da época geológica em que o organismo viveu, o que pode ser feito pela **datação radioativa**. Apesar de ter alguma margem de erro, é considerado um método para estimar a idade de materiais, como rochas e fósseis.

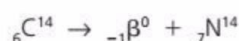
Na **fossilização**, o material biológico e as substâncias que o circundam podem apresentar isótopos radioativos de certos elementos químicos. Tais isótopos são instáveis e emitem partículas, convertendo-se em isótopos mais estáveis de outros elementos químicos, e o tempo gasto nessas transformações é constante.

A **meia-vida** de um isótopo é o tempo necessário para que metade da massa deste isótopo presente em uma amostra se converta em outro isótopo. O tempo gasto nessa conversão não é afetado por temperatura, pressão ou outras circunstâncias ambientais, funcionando como um “relógio de alta precisão”.

▶ Carbono-14

A determinação de que a idade de algumas múmias descobertas no início do século XXI, em um cemitério inca no Peru, é de aproximadamente 500 anos foi possível por meio de testes com carbono-14 (C^{14}). Outro exemplo interessante foi a constatação de que pinturas feitas em algumas cavernas francesas foram realizadas por seres humanos que viveram na região há 16 mil anos.

Na fotossíntese, as plantas absorvem o isótopo 14 do carbono na forma de CO_2 . A seguir, incorporado em moléculas orgânicas, o carbono-14 atravessa as cadeias alimentares, de maneira tal que todos os seres vivos acabam por apresentar certo teor de carbono-14, um isótopo radioativo que sofre decaimento por emissão de partículas beta:



Em um ser vivo, o teor de carbono-14 é praticamente constante (10 ppb, ou dez partes por bilhão), pois a velocidade de decaimento é igual à de reposição do isótopo por meio da nutrição. No entanto, quando a planta ou o animal morrem, as reservas de carbono-14 diminuem, pois a nutrição (autotrófica ou heterotrófica) deixa de acontecer. Em outras palavras, trata-se de um “relógio” acionado no exato momento da morte. Analisando o teor de carbono-14 nos restos do organismo, podemos determinar há quantos anos ocorreu a morte. Como a meia-vida do carbono-14 é de 5 730 anos, podemos concluir que ocorre o decaimento exemplificado a seguir (**figura 11**).

Momento da morte
10 ppb de C-14

5 730 anos depois
5 ppb de C-14

11 460 ($2 \times 5 730$) anos
depois 2,5 ppb de C-14



Ilustrações: Bourdieu

Figura 11. A datação pelo carbono-14 não é um bom procedimento para materiais muito antigos. Nesses casos, utilizam-se outros métodos, como a dosagem do urânio-238. (Imagens sem escala, cores-fantasia.)

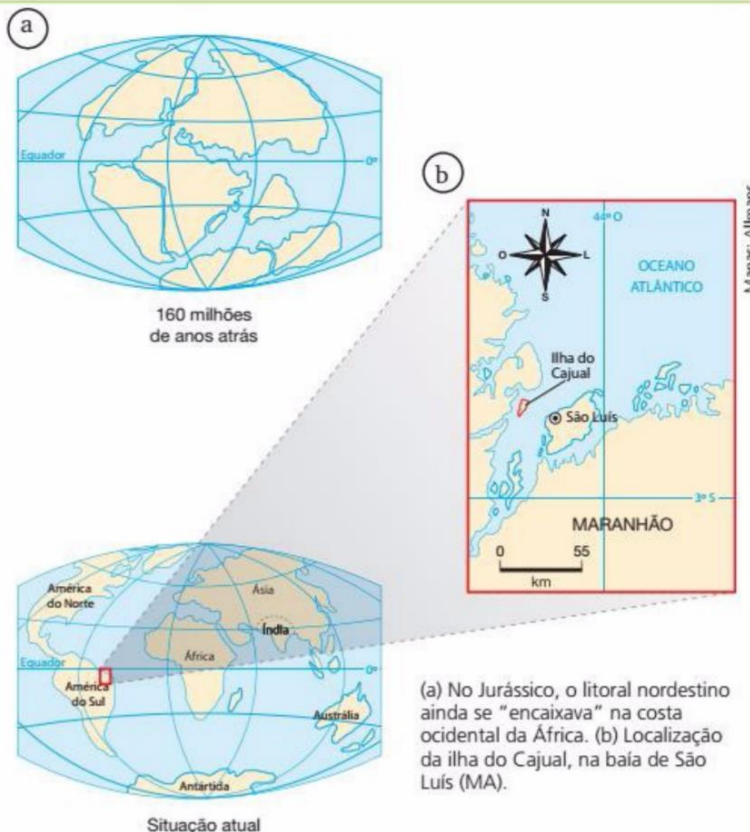
Entre a África e a América

Há pouco mais de 200 milhões de anos, as áreas emersas da Terra eram compostas por dois supercontinentes: Laurásia (que compreendia o que viria a ser a América do Norte, a Europa e a Ásia) e Gondwana (com a América do Sul, a África, a Antártida e a Oceania).

Há 150 milhões de anos, no Jurássico, esses supercontinentes começaram a se separar, o que ocorreu durante o Cretáceo, há pouco menos de 100 milhões de anos.

Na ilha do Cajual (Maranhão, Brasil) foram descobertos fósseis assemelhados a outros de mesma idade geológica, encontrados na África. A grande importância dessas descobertas é que elas representam o registro fóssil da fauna que habitou o Nordeste brasileiro logo após a separação da África e da América do Sul, quando o Atlântico Sul estava se formando e ainda era estreito e raso, como é atualmente o Mar Vermelho.

Na ilha do Cajual, foram identificadas duas espécies de dinossauros (*Carcharodontosaurus saharicus* e *Sigilmassaurus bervicollis*), ambas encontradas também na África: uma no Noroeste africano e outra no Marrocos. Além dos dinossauros, também foram encontrados, nessa ilha, fósseis de peixes marinhos do Cretáceo, que já haviam sido achados na África, além de uma espécie de tubarão de água doce.



(a) No Jurássico, o litoral nordestino ainda se "encaixava" na costa ocidental da África. (b) Localização da ilha do Cajual, na baía de São Luís (MA).

A evolução sob a luz da genômica

A Biologia da última década mudou bastante, e muitas inovações vieram na esteira de um novo campo da ciência, a **genômica**. Uma das principais novidades decorreu do questionamento do conceito clássico de gene e da crise do dogma central da Biologia (um gene → uma proteína → uma característica). Até então, predominava a ideia de que toda a informação genética dependia exclusivamente da sequência de nucleotídeos do DNA. Hoje, sabe-se, porém, que o RNA mensageiro passa por transformações pós-transcrição e que os polipeptídeos sofrem modificações pós-tradução. Segmentos nucleotídicos, antes considerados DNA lixo, exercem controle sobre a atividade gênica e têm importante expressão fenotípica.

Além disso, a própria informação contida no DNA depende não apenas da sequência de nucleotídeos, mas da maneira como a molécula está "empacotada" e como se relaciona com outros componentes celulares.

Esses processos "além do genoma", ou **mecanismos epigenéticos**, devem ter uma importância muito maior do que se supunha até há pouco tempo. Só assim é possível explicar por que, com 23 mil genes, um ser humano é capaz de sintetizar mais de 140 mil tipos de proteínas.

Todavia, algumas descobertas da genômica trazem questionamentos e também corroboram hipóteses importantes a respeito da árvore da vida, proposta por Darwin. Segundo o naturalista britânico, todos os seres vivos têm parentesco evolutivo e descendem de um ancestral único. Sendo assim, seria de esperar que as modificações na composição do genoma pudessem ser acompanhadas desde o tronco comum até as extremidades da árvore.

As análises genômicas, porém, trazem dados surpreendentes. Ao mesmo tempo em que reforçam os vínculos de parentesco entre os seres vivos, mostram que às vezes o parentesco genômico não coincide com os elos estabelecidos nas árvores evolutivas clássicas. Uma possível explicação seria a **transferência horizontal**

de informações, isto é, a passagem de material genético entre membros de espécies diferentes.

Outras descobertas recentes lançam luz sobre a origem da diversidade biológica. De acordo com o modelo clássico (a seleção natural atuando sobre a diversidade genética) esperava-se que as mudanças fossem sempre lentas e graduais. Entretanto, a análise da história da vida mostra que, às vezes, a evolução caminha aos saltos, e não a passos miúdos.

Hipóteses interessantes estão surgindo a partir do conhecimento mais aprofundado da **Biologia evolutiva do desenvolvimento** (ou **evo-devo**) e dos processos que regulam o desenvolvimento embrionário. Como todas as células de um organismo pluricelular possuem as mesmas informações genéticas, diferenças entre os diversos tipos celulares resultam da **expressão diferencial** dos genes em cada tecido. De acordo com o tipo de célula, genes são "ligados" ou "desligados", e proteínas diferentes são produzidas.

O acionamento ou não de determinados genes depende da interação entre certas proteínas e segmentos reguladores do próprio DNA, formando complexos capazes de ativar ou inativar genes vizinhos. Isso explica, por exemplo, por que um mesmo gene pode estar presente no genoma de animais muito diferentes (como insetos e mamíferos), mas provocar efeitos fenotípicos distintos e determinar arquiteturas corporais tão diversas. Em vez de colocar em xeque a concepção darwinista sobre a evolução, a evo-devo lança luz sobre aspectos que eram verdadeiras lacunas do conhecimento. Além dos processos clássicos de determinação da variabilidade genética (como as mutações e a recombinação gênica), os mecanismos epigenéticos e os mecanismos regulatórios do desenvolvimento embrionário são fatores adicionais a fornecer matéria-prima sobre a qual a seleção natural pode atuar. Esses últimos podem explicar as grandes mudanças não graduais observadas na evolução dos seres vivos.

1. (Fuvest-SP) De maneira geral, os machos mais vigorosos, que apresentam maior adaptação ao lugar que ocupam na natureza, deixam maior número de descendentes. Essa afirmação é de Charles Darwin, em **A origem das espécies**.

- Qual a ideia fundamental da teoria darwinista, contida na afirmação?
- Relacione a afirmação de Darwin com o fenômeno da delimitação de território, largamente observada entre os animais.

2. (UERJ)

Caverna da Romênia abriga animais que vivem sem ar

[...] Ela é formada por conjuntos de corredores extremamente estreitos. Em alguns deles não há oxigênio. Os pesquisadores disseram que as espécies encontradas são muito resistentes e sobrevivem com quantidades de ar fatais para outros seres vivos.

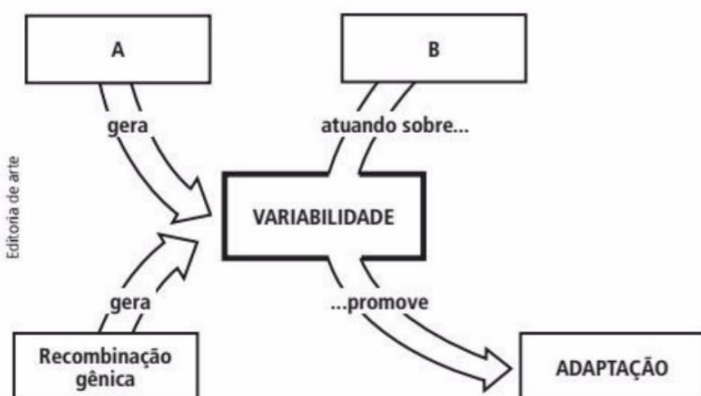
Jornal O Globo.

Se afirmamos que as espécies que viviam na caverna começaram a sofrer adaptações para conseguirem sobreviver sob as novas condições, estamos fazendo alusão a uma teoria evolutiva. Cite o nome dessa teoria e justifique sua resposta.

3. (Fuvest-SP) Uma população de bactérias foi colocada em um meio de cultura saturado de determinado antibiótico. A maioria das bactérias morreu. No entanto, algumas sobreviveram e deram origem a linhagens resistentes a este antibiótico.

- Explique o processo segundo a teoria lamarckista de evolução.
- Explique o processo segundo a teoria darwinista de evolução.

4. (Fuvest-SP) O desenvolvimento da Genética, a partir da redescoberta das leis de Mendel, em 1900, permitiu a reinterpretação da teoria da evolução de Darwin. Assim, na década de 1940, formulou-se a teoria sintética da evolução.



Interprete o diagrama acima, de acordo com essa teoria.

- Que fator evolutivo está representado pela letra A?
- Que mecanismos produzem recombinação gênica?
- Que fator evolutivo está representado pela letra B?

5. (UFPA)

O uso indiscriminado de antibióticos favorece a preservação de linhagens bacterianas resistentes a esses medicamentos. Como exemplo, temos o caso do *Vibrio cholerae*, agente causador da cólera, do qual já são conhecidas linhagens resistentes a, pelo menos, cinco antibióticos.

VIEIRA, Cássio Leite. **Folha de S.Paulo**.

Com base na moderna teoria da evolução, explique a resistência dessas bactérias aos antibióticos.

6. (UFPR) Um levantamento populacional de mariposas realizado no final do século XVIII, no norte da Inglaterra, revelou um grande número de mariposas claras e uma minoria de cor escura, todas da mesma espécie. Um levantamento idêntico, realizado 50 anos mais tarde, constatou uma inversão do quadro, sendo a maioria das mariposas encontradas de cor escura e apenas umas poucas de cor clara. Durante esse período de 50 anos, um grande número de indústrias se instalou na região; seu combustível, carvão, produzia uma acentuada poluição, caracterizada por uma cobertura fuliginosa negra, tanto nas construções como nas plantas. Como poderia ser explicada evolutivamente a mudança na proporção de mariposas claras e escuras?

7. (UFSCar-SP)

Pesquisadores do mundo animal têm chamado a atenção para um fenômeno curioso: cada vez mais elefantes, principalmente na Ásia, nascem sem as presas de marfim, características dos machos da espécie. [...] O processo é desencadeado pela ação predatória dos caçadores, em busca do valioso marfim.

Revista **Veja**.

- Que nome se dá ao mecanismo evolutivo proposto por Charles Darwin, que ajuda a explicar a evolução das espécies ao longo do tempo?
- Não fosse a ação dos caçadores, qual deveria ser o fenótipo dos animais adaptados: presença ou ausência de presas? Por quê?
- Do ponto de vista genético e evolutivo, explique por que está havendo aumento na proporção de elefantes que nascem sem as presas.

8. (UFPR) A população de coelhos da Austrália descende quase exclusivamente de 24 indivíduos trazidos da Inglaterra em 1859. A multiplicação desses animais foi tão rápida que em 1950 atingia proporções calamitosas, constituindo um problema sério para os agricultores. Nesse mesmo ano, o governo australiano resolveu introduzir no país um vírus causador da mixomatose, uma infecção letal para os coelhos europeus e australianos. Em pouco tempo, a população de coelhos reduziu-se a cerca de um por cento do seu tamanho anterior. Em 1958, no entanto, a população de coelhos começou a crescer novamente e, nos primeiros anos da década de 1960, já se apresentava novamente em proporções alarmantes. Explique esse fato à luz da teoria da evolução.

Visões de mundo e de cores

Filme de Fernando Meirelles. *Ensaio sobre a cegueira*, 2008. Brasil, Canadá e Japão.



"Costuma-se até dizer que não há cegueiras, mas cegos, quando a experiência dos tempos não tem feito outra coisa que dizer-nos que não há cegos, mas cegueiras." (Trecho do livro *Ensaio sobre a cegueira*, de José Saramago.) Na imagem, cena do filme de mesmo nome, lançado em 2008.

Parado no sinal de trânsito, um motorista se dá conta de que está completamente cego. Esse é o primeiro caso da "cegueira branca" que, um a um, vai tomando todos os moradores da cidade. Isolados em quarentena, os cegos veem-se diante da nua essência humana. No *Ensaio sobre a cegueira*¹, o escritor português José Saramago (1922-2010) lembra-nos da "responsabilidade de ter olhos quando os outros os perderam".

Já em *A ilha dos daltônicos*, o neurocientista britânico Oliver Sacks (1933-2015) confirma a merecida reputação de excelente narrador. De suas viagens por arquipélagos do Pacífico, ele nos traz reflexões sobre a natureza do tempo geológico profundo, a dispersão das espécies e a gênese das doenças. De lá, surge também a impressionante narrativa apresentada a seguir.

Quando criança, eu tinha enxaquecas visuais nas quais ocorriam não só as clássicas cintilações e alterações do campo visual, mas também alterações na percepção das cores, as quais podiam enfraquecer ou desaparecer por completo

durante alguns minutos. Essa experiência me assustava, mas também me provocava, fazendo-me imaginar como seria viver em um mundo totalmente sem cor, não apenas por alguns minutos, mas permanentemente. Só muitos anos depois tive uma resposta, ou pelo menos uma resposta parcial, na forma de um paciente, Jonathan I., um pintor que de súbito ficara totalmente cego para as cores, depois de um acidente de carro (e talvez de um derrame). Ao que parecia, ele perdera a visão das cores não devido a uma lesão nos olhos, mas a um dano nas partes do cérebro que "constroem" a sensação de cor. De fato, ele parecia ter perdido a capacidade não só de ver as cores, mas de imaginá-las ou lembrá-las e até mesmo de sonhar com elas. Não obstante, assim como quem sofre de amnésia, ele de certa forma permanecia consciente de ter perdido as cores, após toda uma vida de visão cromática, e queixava-se de que seu mundo parecia empobrecido, grotesco e anormal – sua arte, sua comida e até sua esposa pareciam-lhe "deprimentes". Ainda assim, ele não podia saciar minha curiosidade quanto àquela questão – relacionada a esta, porém totalmente diferente – de como poderia ser nunca ter visto

¹ SARAMAGO, J. *Ensaio sobre a cegueira*. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

Leitura sugerida: PICCOLO, G. M.; MENDES, E. G. Contribuições a um pensa socio-lógico sobre as deficiências. *Educação & Sociedade*, Campinas, vol. 34, n. 123, 2013. Disponível em <<http://tub.im/fqz55y>>. Acesso em: maio 2016.

as cores, nunca ter tido o mínimo senso de suas qualidades fundamentais, de seu lugar no mundo.

O daltonismo mais comum, provocado por um defeito nas células da retina, é quase sempre parcial, e possui algumas formas muito frequentes: a cegueira para o vermelho e o verde ocorre em certo grau em um a cada vinte homens (é muito mais rara em mulheres). Mas o daltonismo total e congênito, ou acromatopsia, é incomparavelmente raro, afetando talvez uma pessoa em cada 30 ou 40 mil. Eu ficava imaginando como seria o mundo visual para os que nascem com daltonismo total. Seria possível que, inexistindo para eles a sensação de estar faltando alguma coisa, tivessem um mundo que fosse tão denso e vibrante quanto o nosso? Poderiam ter desenvolvido percepções mais aguçadas de tom, textura, movimento e profundidade visual e viver em um mundo em certos aspectos mais intenso do que o nosso, um mundo de realidade intensificada — como o que podemos só vislumbrar de relance nas obras em preto e branco dos grandes fotógrafos? Poderiam eles realmente ver a nós como estranhos, distraídos pelos aspectos triviais ou irrelevantes do mundo visual, insuficientemente sensíveis à sua verdadeira essência visual? Eu não podia fazer mais do que conjecturar, pois nunca encontrara alguém que houvesse nascido totalmente cego para as cores.

Muitos dos contos de H. G. Wells, a meu ver, apesar de fantásticos, podem ser considerados metáforas de certas realidades neurológicas e psicológicas. Um de meus favoritos é **O país dos cegos**, no qual um viajante se perde e vai parar em um vale isolado na América do Sul, espantando-se com as estranhas casas “multicoloridas” que vê. Os homens que as construíram, pensa ele, devem ser cegos como morcegos — e ele logo constata que isso é verdade, que ele de fato encontrou uma sociedade inteiramente de cegos. Descobre que a cegueira dos habitantes deve-se a uma doença contrária trezentos anos antes e que, ao longo do tempo, o próprio conceito de visão desapareceu: por quatorze gerações essas pessoas têm sido cegas e vêm se mantendo isoladas do mundo dos que enxergam; os nomes que designam todas as coisas da visão desapareceram gradualmente e mudaram [...]. Boa parte de sua imaginação definhou junto com seus olhos, e eles criaram pra si novas imaginações, com seus ouvidos e dedos cada vez mais sensíveis.

O viajante de Wells a princípio sente desprezo pelos cegos, considerando-os lamentáveis, incapacitados — mas logo os papéis se invertem, e o viajante descobre que é ele quem está sendo visto como demente, sujeito a alucinações provocadas pelos órgãos irritáveis e móveis de seu rosto (que os cegos, com seus olhos atrofiados, só conseguem conceber como uma fonte de ilusão). Quando ele se apaixona por uma moça do vale e quer permanecer lá e casar-se com ela, os anciãos, depois de muito deliberar, concordam, desde que ele consinta na remoção daqueles órgãos irritáveis, os olhos.

Quarenta anos depois de ter lido essa história pela primeira vez, li outro livro, de Nora Ellen Groce, cujo tema era surdez na ilha de Martha's Vineyard. Aparentemente, um capitão de navio e seu irmão, provenientes de Kent, haviam se fixado ali na década de 1690; ambos tinham audição normal, porém ambos eram portadores de um gene [alelo¹] recessivo de surdez. Com o passar do tempo, devido ao isolamento da ilha e aos casamentos entre os membros daquela comunidade fechada, a maioria de seus descendentes passou a ser portadora desse gene; em meados do século XIX, em algumas das aldeias ao norte da ilha, um quarto ou mais dos habitantes nascia com surdez total.

Em vez de serem objeto de discriminação, na ilha as pessoas que ouviam eram assimiladas — em sua cultura visual, todos na comunidade, surdos e não surdos, haviam passado a usar a linguagem de sinais. Conversavam na linguagem de sinais (a qual, em muitos aspectos, era bem melhor do que a linguagem falada: para se comunicar à distância — por exemplo, de um barco pesqueiro para outro — ou para focar na igreja), faziam debates, ensinavam, pensavam e sonhavam na linguagem de sinais.

Martha's Vineyard era uma ilha onde todo mundo falava na linguagem de sinais, um verdadeiro país dos surdos. Alexander Graham Bell, que esteve na ilha na década de 1870, conjecturou se ela não poderia vir a abrigar toda uma “variedade surda da raça humana”, que poderia então disseminar-se pelo mundo. E sabendo que a acromatopsia congênita, assim como essa forma de surdez, é igualmente hereditária, não pude deixar de imaginar se também não existiria, em algum lugar do planeta, uma ilha, uma aldeia, um vale dos daltônicos. [...]

SACKS, O. **A ilha dos daltônicos**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

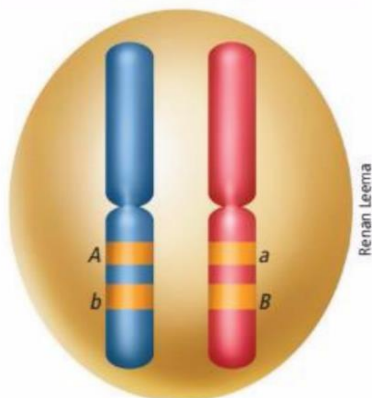
¹ Comentário nosso.

Depois da leitura do texto, faça o que se pede:

Escreva
no caderno

1. Considerando as estruturas anatômicas envolvidas, qual é a diferença entre a cegueira para cores do pintor Jonathan e das pessoas com a forma mais comum de daltonismo?
2. A respeito dos personagens do conto **O país dos cegos**, de H. G. Wells, Sacks diz que “eles criaram pra si novas imaginações, com seus ouvidos e dedos cada vez mais sensíveis”. Explique essa afirmativa.
3. No texto de Oliver Sacks, destaque um trecho que trata do papel dos endocruzamentos na expressão de uma característica.
4. Releia a abertura do Capítulo 10. A seguir, comente a seguinte afirmativa: “Sob certo aspecto, o próprio conceito de deficiência é uma construção social”.

1. Um indivíduo tem genótipo $AaBb$, e a distribuição dos alelos no par de cromossomos homólogos está representada abaixo:



- a) Estes dois pares de alelos segregam-se independentemente? Justifique sua resposta.
- b) Sabendo-se que a taxa de recombinação entre os dois pares de alelos é de 10%, quais são as proporções e os tipos de gametas que esse indivíduo pode produzir?
2. Considere o cruzamento entre duas moscas que possuem os genótipos $PpVv$ e $ppvv$. O número de seus descendentes e de seus respectivos genótipos constam na tabela a seguir.

Genótipo	Número de indivíduos
$PpVv$	40
$Ppvv$	160
$ppVv$	160
$ppvv$	40

A partir dessas informações e com base em seus conhecimentos, calcule a taxa de recombinação entre os genes p e v .

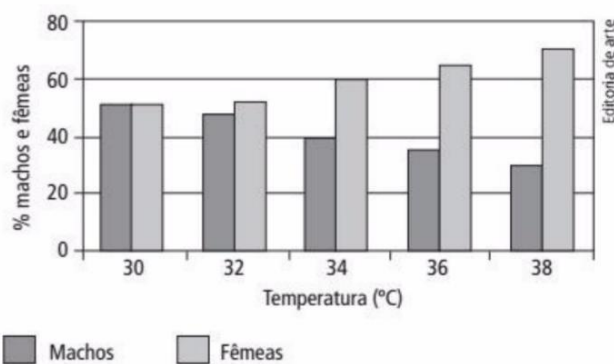
3. No cromossomo II de drosófilas, certo loco gênico pode ser ocupado por um alelo recessivo a , que determina uma anormalidade das asas (asas *curled*), ou por um alelo dominante A , que condiciona asas normais. Outro loco gênico pode ser ocupado por um alelo recessivo c , que determina a formação de cerdas curtas, ou por um alelo dominante C , que condiciona cerdas normais.

Um macho homozigoto de asas *curled* e cerdas normais foi cruzado com uma fêmea homozigota de asas normais e cerdas curtas. Um macho resultante foi retrocruzado com a fêmea parental. Considerando-se uma taxa de recombinação de 24%, determinar na descendência desse retrocruzamento:

- a) a proporção esperada de moscas com asas e cerdas normais.
- b) a proporção esperada de moscas homozigotas para os dois pares de alelos.
4. (Vunesp-SP) Recentemente, os jornais e a revista científica internacional *Nature* publicaram com destaque um grande feito de um grupo de cientistas brasileiros, que identificou o genoma de uma bactéria, *Xylella fastidiosa*, que causa uma doença nas laranjeiras, conhecida como amarelinho.

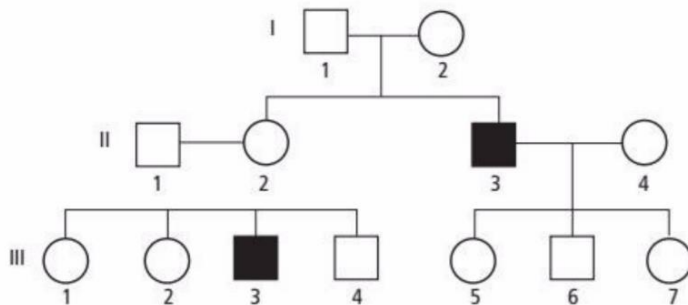
O xilema das plantas produtoras de laranja é parcialmente bloqueado, reduzindo a produção, pois a maioria das frutas não se desenvolve.

- a) Explique o que é genoma e indique uma possível consequência econômica dos resultados dessa pesquisa.
- b) Se o xilema é bloqueado, quais as principais deficiências que a planta sofre? Justifique.
5. (Vunesp-SP) Em algumas espécies de tartarugas marinhas que usam as areias da praia na desova, a determinação do sexo dos embriões está relacionada com a temperatura. A figura mostra a porcentagem de machos e fêmeas eclodidos de ovos incubados em diferentes temperaturas.



- a) Tendo como referência as informações presentes na figura e considerando o aquecimento global causado pela acentuação do efeito estufa, qual seria a consequência mais imediata para as populações dessas espécies de tartarugas?
- b) Se um gráfico de mesmo tipo fosse construído para representar a porcentagem de embriões machos e fêmeas que se desenvolvem a partir de ovos das aves, na faixa de temperatura correspondente a 38 °C, quais seriam as porcentagens esperadas para cada um dos sexos? Justifique.
6. (UFU-MG) Na espécie humana, a distrofia muscular de Duchenne é uma doença condicionada por um gene recessivo localizado no cromossomo X, que acarreta degeneração e atrofia dos músculos. Os homens afetados começam a apresentar os sintomas na primeira infância e não se reproduzem porque morrem antes de atingir o período reprodutivo. Leia as afirmativas abaixo.
- I. A distrofia muscular de Duchenne é uma doença que ocorre quase que exclusivamente em meninos.
- II. Devido à inativação ao acaso de um cromossomo X, que ocorre nas células das fêmeas dos mamíferos (hipótese de Lyon), as mulheres heterozigotas para o gene da distrofia muscular de Duchenne podem apresentar graduações da característica.
- III. A distrofia muscular de Duchenne é uma doença que ocorre exclusivamente no sexo masculino.
- São corretas as afirmativas:
- a) apenas III. c) apenas II e III.
- b) apenas I e III. d) apenas I e II.

7. (UFES) A genealogia representa uma característica determinada por um alelo recessivo ligado ao sexo, em humanos.

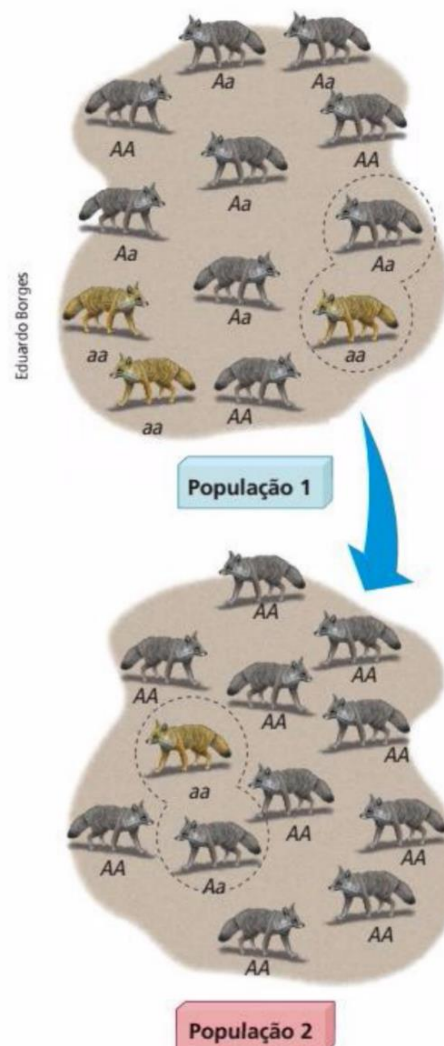


- a) Qual é a probabilidade de nascerem indivíduos afetados pelo caráter, no casamento entre os indivíduos III-4 e III-5?
- b) Quais são os genótipos dos indivíduos I-1, I-2, II-2 e II-3, respectivamente?
8. (UFPR) Em galinhas, o sexo feminino é heterogamético. Numa determinada raça, a coloração das penas é uma característica condicionada pelo alelo C ligado ao sexo. O alelo que determina a coloração carijó é dominante sobre o alelo para a cor branca. O cruzamento de uma galinha branca com um galo carijó produziu somente aves carijós. Promovendo o inter cruzamento desses descendentes, qual seria a proporção fenotípica esperada?
9. Um cientista, submetendo uma população de moscas a diferentes doses de raios X, teve o seguinte resultado em relação ao número de mutações:

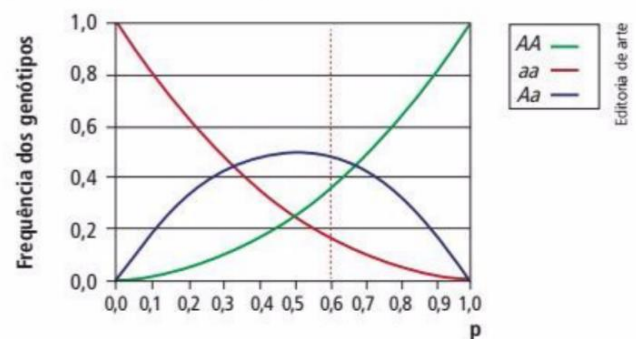
Doses de raio X	Números de mutações
0	3
20	25
40	38
60	51
80	74
100	82

Construa um gráfico que represente os resultados observados, analise-o e indique qual é a relação que existe entre o número de mutações e a exposição aos raios X.

10. Em cebolas, a cor do bulbo pode ser roxa (alelo dominante A) ou amarela (alelo recessivo a). Numa população de 10 000 plantas, em equilíbrio de Hardy-Weimberg, são encontradas 1 600 plantas com bulbos amarelos.
- a) Qual é a frequência dos alelos A e a na população?
- b) Se um agricultor eliminar todas as plantas de bulbos amarelos em uma geração, impedindo que elas originem descendentes, qual deverá ser a porcentagem de plantas com bulbos amarelos na geração seguinte?
11. Membros de uma população 1 (circundados pela linha tracejada) migraram e integraram-se a uma população 2, da mesma espécie, como assinala o esquema a seguir. Cada desenho de animal representa um conjunto de 100 animais, igualmente distribuídos entre machos e fêmeas.



- a) Qual era a frequência alélica nas populações 1 e 2 antes da migração? E depois da migração?
- b) Se, a partir da migração, as populações permaneceram em equilíbrio gênico, quais deveriam ser as frequências dos alelos A e a em cada população depois de cinco gerações? Justifique.
- c) Considerando a mesma condição do item (b), qual era a frequência de animais cinza nas populações 1 e 2?
12. (UFRJ) O gráfico a seguir mostra as frequências dos genótipos de um loco que pode ser ocupado por dois alelos A e a . No gráfico, p representa a frequência do alelo A .



Calcule a frequência dos genótipos AA , Aa , aa nos pontos determinados pela linha pontilhada. Justifique sua resposta.

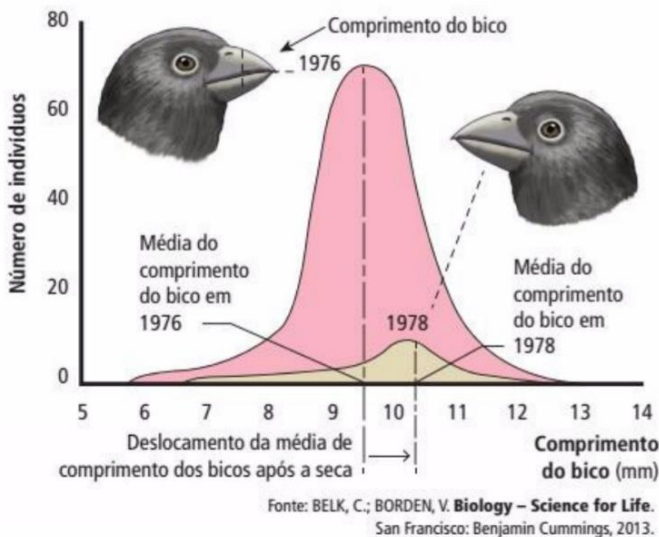
13. (Unicamp-SP) A evolução biológica é tema amplamente debatido e as teorias evolucionistas mais conhecidas são as de Lamarck e Darwin, a que remete a tira do Calvin abaixo.



Adaptado de: <<http://rocko.blogia.com/2005/050602comic-06.05.05-calvinhobbes-lamarck-y-laevolucion.php>>. Acesso em: 08/12/07.

- a) Como a altura da girafa, lembrada pela tira do Calvin, foi utilizada para explicar a teoria de Lamarck?
- b) Como a teoria de Darwin poderia explicar a situação relacionada com a altura da girafa?

14. Grande parte da população de tentilhões da espécie *Geospiza fortis*, das ilhas Galápagos, morreu em decorrência de uma intensa seca que afetou o arquipélago em 1977. Um pesquisador observou que os indivíduos sobreviventes apresentavam o tamanho de bicos maior do que a média verificada em anos anteriores à seca, conforme mostra o gráfico.



Os descendentes das aves sobreviventes também apresentavam bicos maiores que a média anterior a 1977.

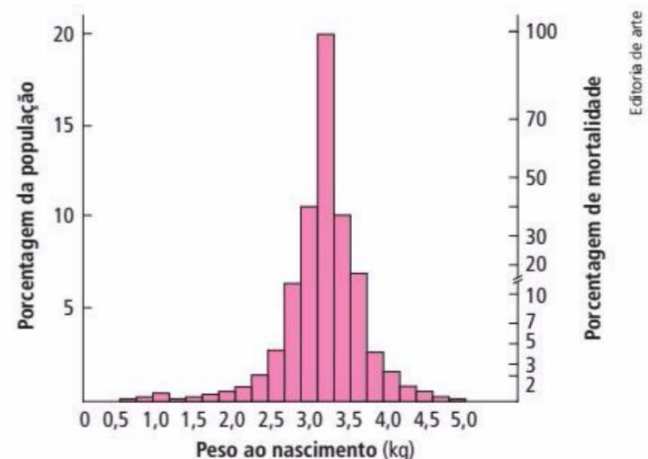
- a) Elabore uma hipótese que explique a variação do tamanho médio dos bicos destas aves após o período de seca.
- b) Explique por que os descendentes das aves sobreviventes também apresentavam bicos maiores.
15. Leia o texto:

Doze trocas de letras separam o citocromo c humano do citocromo c dos cavalos (nossos primos distantes). Apenas uma troca de letra no citocromo c separa os humanos dos macacos (nossos primos próximos). Uma troca de letra separa os cavalos dos jumentos (seus primos próximos). Três trocas de letras separam os cavalos dos porcos (seus primos um tanto distantes).

Quarenta e cinco trocas de letras separam os humanos do levedo-da-cerveja e o mesmo número separa os porcos do levedo-da-cerveja.

DAWKINS, R. *O rio que saía do Éden*. Rio de Janeiro, Rocco, 1996.

- a) Considerando que as proteínas são a expressão das informações genéticas contidas no DNA, como você explica evolutivamente as diferenças entre os citocromos c das três espécies?
- b) De acordo com os dados do texto, e considerando que a acumulação de divergências bioquímicas é proporcional ao tempo entre a separação dos ramos evolutivos e os dias atuais, quais devem ter sido as divergências mais recentes?
- c) Ainda segundo os dados apresentados, construa a “árvore” que poderia unir evolutivamente alguns organismos citados.
16. O gráfico de barras a seguir representa a distribuição dos pesos dos bebês ao nascer, em uma população humana.



Fonte: STARR, C.; EVERS, C.; STARR, L. *Biology – The Unity and Diversity of Life*. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2016.

- a) Considerando que o peso ao nascer atua como um fator de seleção natural, desenhe em seu caderno um gráfico que represente como deve variar a porcentagem de mortalidade dos recém-nascidos, em função do peso ao nascer.
- b) Justifique a sua resposta.

1. A corrida por patentes de genes humanos, desencadeada por descobertas decorrentes do Projeto Genoma Humano, levanta questões éticas. Nesse contexto, explique o sentido de humor da charge a seguir.



2. Leia o texto que segue:

[...] O médico e pesquisador Luiz Alberto Amador Pereira, do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Universidade de São Paulo, afirma que os gases emitidos pelos veículos acima do nível estabelecido pela legislação ambiental agravam doenças do sistema respiratório e cardiovasculares e interferem na gestação: os bebês nascem com baixo peso. Estudos recentes indicam também que nascem mais mulheres do que homens porque o cromossomo Y é mais suscetível às variações ambientais. [...]

MOURA, R. Fumaça preta dá multa de R\$ 854. **Folha de S. Paulo**, 11 mar. 2007. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/veiculos/cv1103200707.htm>>. Acesso em: abr. 2016.

De acordo com essa notícia, qual seria a explicação para a maior proporção de nascimentos de meninas da população estudada?

3. Leia os textos seguintes:

Texto 1

O tabu do incesto — que considera a consanguinidade uma prática repulsiva — é observado em quase todos os grupos humanos, nas diversas fases da história. Provavelmente, esse tabu se consolidou pela observação de que os cruzamentos consanguíneos favoreciam o surgimento de anomalias. Hoje, sabe-se que a consanguinidade de fato aumenta a incidência de doenças hereditárias.

Texto 2

A exogamia afirma a existência social de outrem, e só proíbe o casamento endógamo para introduzir e prescrever o casamento com um grupo diferente da família biológica. Certamente não é porque algum perigo biológico se ligue ao casamento consanguíneo, mas porque do casamento exógamo resulta um benefício social. [...] A proibição do incesto é menos uma regra que proíbe casar-se com a mãe, a irmã ou a filha do que uma regra que obriga a dar a outrem a mãe, a irmã ou a filha; é a regra do dom por excelência.

Claude Lévi-Strauss, 1908-2009, antropólogo francês. Apud NARVAZ, M. G.; KAOLLER, S. H. A concepção de família. **Psicologia: reflexão e crítica**. 2006.

Texto 3

[...] a frequência de doenças recessivas se mantém baixa na população, porque para que um portador tenha um filho afetado é necessário que a sua parceira também seja portadora. Se a parceira não for consanguínea, a probabilidade de que isso aconteça vai depender da frequência do gene [alelo] na população, mas em geral será muito baixa.

Por outro lado, se a parceira for parente, o risco de um filho do casal receber um gene [alelo] mutante em dose dupla aumenta. O impacto real desse aumento para os casais consanguíneos é que precisa ser bem entendido para informar as suas decisões reprodutivas. [...]

PENA, S. D. 'Passione' e a genética dos primos no altar. **Ciência Hoje**, 10 dez. 2010. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/deriva-genetica/2018passione2019-e-a-genetica-de-primos>>. Acesso em: abr. 2016.

Dos textos citados, um apresenta argumentação dissonante. Qual é ele? Justifique sua escolha.

4. Leia o texto abaixo e em seguida faça o que se pede.

[...] Contra minha vontade, andei pelo mundo, como uma mosca a fugir das aranhas, até que um dia, já sob o regime democrático, deparei-me com uma aranha ao abrir o **Dicionário de Filosofia**, de José Ferrater Mora. Era uma dessas bem menor que uma mosca e que deveria alimentar-se de bichos minúsculos. Mas, naquele momento, não pensei nisso, tão surpreso fiquei ao vê-la, levíssima, apoiada em suas oito finíssimas pernas, deslocar-se sobre a página impressa, como uma bolha de ar, e ir postar-se na margem superior da página, donde ficou a observar-me.

Estava, sem dúvida alguma, assustada e surpresa, pois, nascida e criada dentro de um dicionário, jamais vira um ser humano. De minha parte, estava também surpreso, pois jamais imaginara a existência de semelhante indivíduo habitando minha casa, oculto entre as páginas de um de meus livros. E de novo me veio à mente aquela pergunta:

— Para que servem as aranhas?

E ela, ou por ter adivinhado o que eu pensara ou por ter me ouvido balbuciar a pergunta, respondeu:

— Quer parar de buscar finalidade em tudo?! E você, para que serve? E este planeta, e o Sol e as galáxias, para que servem?

Para evitar polêmica, tratei de fechar o livro, cuidadosamente, de modo a não machucá-la.

GULLAR, F. **Folha de S.Paulo**, 13 maio 2007. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ilustrad/fq1305200727.htm>. Acesso em: abr. 2016.

Um dos equívocos frequentes quando se fala da evolução biológica é o finalismo, ideia segundo a qual as estruturas morfológicas e os processos fisiológicos teriam se desenvolvido com um propósito, como se a evolução caminhasse em um sentido específico e com um projeto predeterminado. No texto do poeta maranhense Ferreira Gullar, destaque um trecho em que a ideia finalista é contestada.

Leia os trechos a seguir, para responder às questões 5 e 6.

Em 1935, os cerca de 100 exemplares de sapos da espécie *Bufo marinus* (popularmente conhecido no Brasil como sapo-cururu) [atualmente, *Rhinella marina*] levados do Havaí para a Austrália eram a salvação para as lavouras de cana-de-açúcar locais, castigadas por pragas. Mais de 70 anos depois, a situação se inverteu e ambientalistas lutam para combater esse anfíbio, que proliferou e já ocupa uma área de um milhão de quilômetros quadrados no país (mais do que a superfície do estado do Mato Grosso).

Pesquisadores da Universidade de Sidney revelaram [...] que a adaptação de tais sapos aos habitats australianos representa um risco para animais nativos. Em entrevista [...], o coordenador da pesquisa, Richard Shine, explicou que a principal ameaça dessa espécie é o seu veneno. “Os predadores da Austrália comem esse sapo pensando se tratar de um animal não venenoso, como todos os sapos do país”, conta. “A morte é imediata.”

De acordo com os cientistas, o *Bufo marinus* avança no território australiano a uma velocidade cinco vezes maior do que há 40 anos. Se na década de 1960 os sapos invadiam novas áreas numa média de 10 km por ano, atualmente eles percorrem até 50 km no mesmo período.

MOLICA, J. O grande salto do sapo-cururu. **Instituto Ciência Hoje**. 15 fev. 2006. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/ecologia-e-meio-ambiente/o-grande-salto-do-sapo-cururu>. Acesso em: abr. 2016.

Chegando à Austrália com a “missão” de combater besouros que atacavam as plantações de cana-de-açúcar, os sapos-cururus adaptaram-se ao novo ecossistema e estão se dispersando cada vez mais rapidamente. Os animais que lideram as ondas migratórias são menores, têm membros inferiores relativamente mais longos e são menos tóxicos. Diante da “invasão anfíbia”, a fauna local também vem passando por modificações. Pesquisadores notaram que, com o passar de algumas décadas, a boca das serpentes de algumas espécies está diminuindo. A explicação parece ser que as serpentes com boca maior comem mais sapos e, como os anfíbios são venenosos, essas serpentes acabam morrendo.

5. Quando comparados com seus “parentes” centro-americanos, os sapos Australianos apresentam características fenotípicas distintas.

- Essas características fenotípicas dos sapos Australianos estão atuando como fator de seleção em outro grupo local. Que aspecto adaptativo citado nos textos indica essa evolução?
- Supondo que os genes determinantes dessas novas características fenotípicas já estivessem presentes no genoma do grupo centro-americano, que fator teria possibilitado que essas novas características fenotípicas predominassem na Austrália e não na América Central?

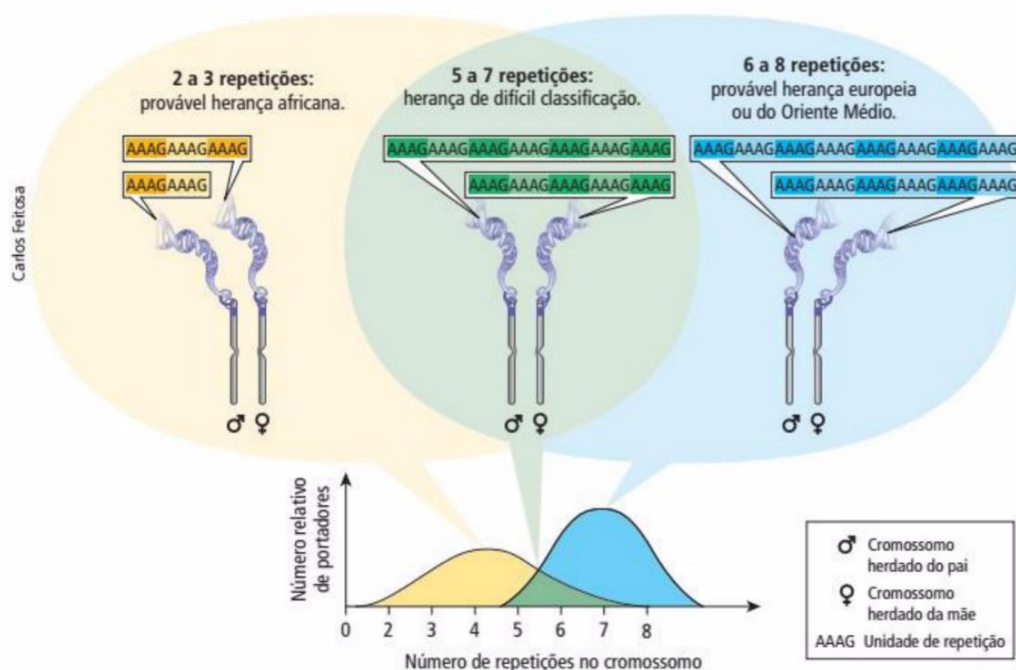
6. Nos textos, discute-se um procedimento de controle da população de uma espécie indesejada pela introdução de espécies que estabeleçam com ela relações de predatismo, parasitismo ou competição. Dessa forma, provocam a eliminação ou a diminuição da população da espécie-alvo.

- Qual é o nome desse processo de combate às espécies indesejadas?
- Que cuidados devem ser tomados ao utilizar este processo?
- Quais são as principais consequências da não observância desses cuidados?

7. Leia as informações a seguir e responda ao que se pede.

[...] A contagem do número de unidades de DNA nos cromossomos, chamadas de repetições pequenas em tandem (*short tandem repeats*), permite que os cientistas agrupem os indivíduos de acordo com a sua provável ancestralidade. Uma dessas repetições, a AAAG, ocorre entre duas e sete vezes nas pessoas com herança africana, mas entre cinco e oito vezes nas pessoas cujos ancestrais vieram da Europa ou do Oriente Médio. (Toda pessoa herda um conjunto de repetições da mãe e um do pai.) Assim, alguém que apresenta duas e três repetições tem, provavelmente, herança africana, enquanto alguém que apresenta seis e oito repetições tem provavelmente ancestrais provenientes da Europa ou do Oriente Médio. No entanto, pessoas que apresentam entre cinco e sete repetições ocorrem em ambas as populações, o que torna mais difícil classificar essas pessoas usando apenas esta repetição.

Fonte: BAMSHAD, M. J.; OLSON, S. E. Ambiguidades que limitam uma definição de raça. *Scientific American Brasil*, edição especial n. 16, 2004. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/ambiguidades_que_limitam_uma_definicao_de_raca.html>. Acesso em: abr. 2016.



- Qual é a mais provável ancestralidade de uma pessoa em cujo DNA se encontram oito repetições em tandem?
- As repetições em tandem podem ser encontradas nos cromossomos de origem materna, nos de origem paterna ou em ambos?

Além dos limites destas páginas

Usos de energia: sistemas, fontes e alternativas: do fogo aos gradientes de temperatura oceânicos,

de Helena da Silva F. Tundisi (São Paulo: Atual, 2003). Este livro apresenta o problema da crise energética por meio da história da busca do ser humano pelo domínio das fontes de energia, desde o uso primitivo do fogo até a atualidade. Discute, ainda, a atual dependência da sociedade em relação ao petróleo e a necessidade, sob uma perspectiva ecológica, do desenvolvimento de alternativas viáveis para a substituição desse recurso.

 A atividade sobre **Dinâmica populacional**, disponível na Rede Interativa Virtual de Educação (RIVED), propõe atividades baseadas na adaptação e tolerância de seis diferentes espécies de peixes às variações de fatores abióticos (pH e temperatura). Disponível em: <<http://tub.im/2w4ejr>>. Acesso em: maio 2016.

 O endereço eletrônico abaixo apresenta uma animação que ilustra de maneira simplificada o fluxo da energia entre os diferentes níveis tróficos em uma cadeia alimentar. Disponível em: <<http://tub.im/cimhv5>>. Acesso em: maio 2016.

 Muitas páginas do **Ministério da Saúde** e do **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, órgãos relacionados ao governo federal brasileiro, apresentam estatísticas referentes à saúde e à qualidade de vida da população brasileira. Disponíveis em: <<http://tub.im/oqseeg>> e <<http://tub.im/b2vvof>>. Acessos em: maio 2016.

 **Ecologia e cidadania**, de Carlos Minc (São Paulo: Moderna, 2005).

Para se falar de Ecologia não há receita única, pois seus parâmetros e abordagens devem ser diferentes para cada classe social, uma vez que sua percepção está ligada às vivências sociais concretas. Este livro aborda a Ecologia de maneira integrada à cidadania e ao cotidiano, com o objetivo de mostrar como se forma a consciência ecológica e como esta pode transformar a economia, a saúde, as tecnologias, as cidades, o comportamento, ou seja, transformar a qualidade de vida das populações humanas.

A longa marcha dos grilos canibais: e outras crônicas sobre a vida no planeta Terra,

de Fernando Reinach (São Paulo: Companhia das Letras, 2010). Este livro apresenta dezenas de crônicas bem-humoradas que buscam aproximar a ciência de todos. O autor conta descobertas e enigmas de diversas áreas da ciência e pas-seia pelas mais diversas manifestações de vida. São textos curtos, que levam à reflexão sobre o que é o ser humano e qual é o seu lugar e papel. As crônicas mostram que o ser humano domesticou centenas de espécies de plantas e animais para uso próprio, causando danos profundos ao planeta, os quais tenta consertar de forma muitas vezes desastrosa.

 **Brasil: paisagens naturais**, de Marcelo Leite (São Paulo: Ática, 2007).

O livro revela as características naturais e o processo de ocupação humana dos biomas brasileiros. A riqueza da biodiversidade do Brasil e a necessidade de preservação ambiental são evidenciadas por meio de texto acessível e belíssimas imagens.

A Fundação SOS Mata Atlântica, o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e a Associação Caatinga

são organizações não governamentais que visam promover a preservação de remanescentes de alguns ecossistemas brasileiros, por meio da valorização das comunidades humanas que habitam esses ecossistemas, do desenvolvimento sustentável e da conservação dos patrimônios natural, histórico e cultural dessas regiões. Conheça melhor essas instituições e os ecossistemas por elas protegidos. Disponíveis em: <<http://tub.im/7b2xha>>; <<http://tub.im/zn8j6x>> e <<http://tub.im/z7od6t>>. Acessos em: maio 2016.

 **Quebra-Cabeça dos Biomas Brasileiros** é um objeto educacional digital com 10 opções de quebra-cabeças virtuais com imagens dos diferentes biomas do Brasil. Ao concluir a montagem do jogo, tornam-se disponíveis informações sobre o bioma ilustrado, como região de ocorrência, características climáticas e algumas espécies típicas. Disponível em: <<http://tub.im/3tssn9>>. Acesso em: maio 2016.

 **Uma verdade inconveniente**, de Davis Guggenheim (EUA, 2006).

O documentário, estrelado pelo ex-vice-presidente dos Estados Unidos Al Gore, aborda as mudanças climáticas, mais especificamente o aquecimento global, convidando a uma reflexão sobre o tema.

 **Água: origem, uso e preservação**, de Samuel Murgel Branco (São Paulo: Ática, 2006).

Assim como os demais recursos naturais, a água também está ameaçada pela poluição, pela contaminação e pelas alterações climáticas relacionadas às atividades humanas. Este livro apresenta as principais características e propriedades que definem essa substância essencial à vida e revela atitudes e técnicas acessíveis para a conservação deste importante recurso natural.

 **Pegada Hídrica** é a página eletrônica em português da rede **Water Footprint Network**, mantida pela Universidade de Twente, na Holanda. O portal apresenta dados sobre o consumo direto e indireto de água em diversos países. Há uma calculadora que permite fazer o cálculo de sua pegada hídrica, de acordo com seus hábitos de consumo. Disponível em: <<http://tub.im/3wtc9p>>. Acesso em: maio 2016.

 **Lixo Extraordinário** (2009, Brasil).

Indicado ao Oscar de melhor documentário em 2011 e ganhador de vários prêmios, retrata a experiência do artista plástico Vik Muniz, que foi a um dos maiores aterros sanitários do mundo: o Jardim Gramacho, na periferia do Rio de Janeiro, com o objetivo de fotografar e retratar um grupo de catadores de materiais recicláveis. Seu trabalho, porém, revela a dignidade e toda a dificuldade enfrentada por esses trabalhadores em sua rotina, e o poder transformador da arte sobre essas pessoas.

 **A história das coisas – da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos**, de Annie Leonnard (Zahar, 2011).

Com base no vídeo criado pela autora em 2007, o livro estimula a reflexão sobre os hábitos de consumo atuais e propõe soluções em nível governamental e individual. Através de exemplos simples, revela como a economia mundial, baseada no consumismo, gera importantes impactos sobre o meio ambiente.

 No portal do **Ministério da Agricultura** é possível acessar notícias, informações técnicas, legislação vigente e a listagem dos OGMs (Organismos Geneticamente Modificados) autorizados no país, além de outras informações sobre diversos temas relacionados à agricultura e ao uso do solo no Brasil. Disponível em: <<http://tub.im/dj65kt>>. Acesso em: maio 2016.

 A animação, disponível no portal de Conteúdos Educacionais do MEC – WebEduc, ilustra o **Ciclo do Nitrogênio** e sua importância para a natureza e a manutenção da vida. Disponível em: <<http://tub.im/p6w5ah>>. Acesso em: maio 2016.

 A página eletrônica Pré-Univesp, revista digital de divulgação científica da Universidade Virtual do estado de São Paulo, apresenta textos curtos relacionados a temas de Biologia, que poderão servir de apoio ao estudante pré-universitário. Disponível em: <<http://tub.im/ikodkt>>. Acesso em: maio 2016.

 **Os experimentos de Mendel** é uma oficina interativa disponível no site da Fundação CECIERJ, que ilustra os experimentos realizados por Gregor Mendel e os resultados que o levaram a estabelecer a primeira lei de Mendel, após analisar diversas características de ervilhas separadamente. Disponível em: <<http://tub.im/pkhhka>>. Acesso em: maio 2016.

 **Solidariedade sanguínea** é um interessante jogo cujo objetivo é descobrir qual é o tipo sanguíneo de oito personagens e identificar qual deles pode doar sangue para o menino que necessita de transfusão urgente. Disponível em: <<http://tub.im/wnwzjb>>. Acesso em: maio 2016.

 A **Associação da Medula Óssea do Estado de São Paulo (Ameo)** é uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (Oscip), composta por pacientes, familiares e profissionais da saúde, com apoio do Hemocentro da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. No portal é possível encontrar todo tipo de informação sobre o transplante de medula óssea (TMO), além de campanha de esclarecimento sobre a doação de MO e notícias sempre atuais sobre pesquisas a respeito do tema. Disponível em: <<http://tub.im/nb6m5z>>. Acesso em: maio 2016.

 **Série 21: humanidade sem raças?**, de Sérgio D. J. Pena (Publifolha, 2008).

A questão racial é tratada sob uma perspectiva biológica, através de temas como a diversidade humana, a evolução do conceito de raça, entre outros. De acordo com o autor, as raças humanas não existem, são produto da imaginação cultural, um conceito útil em estudos de populações. No entanto, o conceito racial também é empregado para criar esquemas de classificação que acabam por “justificar” a dominação exercida por alguns grupos sobre outros. Há também um glossário com os termos mais relevantes da área.

 A animação desenvolvida pela Fundação CECIERJ mostra a **Segregação independente de caracteres e o cruzamento-teste**, por meio de um exemplo clássico: olhos e asas de moscas. Disponível em: <<http://tub.im/22gj5c>>. Acesso em: maio 2016.

 **Vista minha pele**, de Joel Zito Araújo (Brasil, 2003). Através de uma divertida paródia, o filme retrata o drama vivido por Maria, uma jovem loira que vive em uma sociedade na qual se prega a igualdade, porém, na prática, os negros são dominantes, e os brancos excluídos e marginalizados. É uma maneira diferente e interessante de promover a reflexão sobre o racismo.

 **O Projeto Genoma Humano**, de Mônica Teixeira, Coleção Folha Explica. (Publifolha, 2008).

O impacto da conclusão do Projeto Genoma Humano sobre o mundo científico ainda não é totalmente conhecido, porém certamente resultará em importantes avanços para a Medicina e a Biologia. Este livro aborda, em linguagem acessível, o árduo caminho das pesquisas genéticas, desde as leis básicas da hereditariedade de Mendel, em 1866, até o sequenciamento do genoma do *Homo sapiens*, em 2000.

 O **Centro de Estudos do Genoma Humano (CEGH)** conta com uma ampla e diversificada equipe de pesquisadores que desenvolvem suas atividades em pesquisas básicas e aplicada sobre o genoma humano, doenças genéticas e células-tronco, além de prestação de serviços e atividades ligadas à educação e à transferência de tecnologia. Na página eletrônica do CEGH estão disponíveis informações sobre o centro de pesquisa, os trabalhos lá desenvolvidos e notícias sempre atualizadas sobre esses temas. Disponível em: <<http://tub.im/8xv8bs/>>. Acesso em: maio 2016.

 A página eletrônica mantida pela **Federação Brasileira de Hemofilia** apresenta informações e notícias sobre a hemofilia e outras doenças, especialmente aquelas que são transmitidas pelo sangue, além de uma série de *links* relacionados. Disponível em: <<http://tub.im/udpvuf>>. Acesso em: maio 2016.

 **Genética de populações humanas**, de Bernardo Beiguelman. O livro eletrônico, disponível gratuitamente, aborda a lei de Hardy e Weinberg e outros equilíbrios genéticos, assim como a aplicação desses conceitos sobre populações humanas através da análise genética da família, efeitos da consanguinidade, doenças genéticas, frequência gênica e evolução. Disponível em: <<http://tub.im/89avca>>. Acesso em: maio 2016.

 **Escritores da Liberdade**, de Richard LaGravenese (EUA, 2007).

A professora Erin Gruwell assume uma classe problemática, cujos alunos sabem que a escola não tem nenhum interesse em dedicar a eles tempo e atenção. De início complicada, a relação entre os alunos e a professora melhora aos trancos e barrancos, à medida que ela adota estratégias diferenciadas de trabalho, mesmo sem o apoio da direção. O projeto de leitura de O diário de Anne Frank é um ponto de virada na história, por permitir que os alunos expressem, através da análise da obra, suas próprias experiências de preconceito e exclusão.

Lista de siglas

SIGLA	INSTITUIÇÃO
Cederj-RJ	Fundação Centro de Ciências e Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro
EEM-SP	Escola de Engenharia Mauá
Emescam-ES	Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória
Enade/MEC	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
Enem/MEC	Exame Nacional do Ensino Médio
FGV-SP	Fundação Getúlio Vargas
Fameca-SP	Faculdade de Medicina de Catanduva
FMTM-MG	Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro
Fuvest-SP	Fundação Universitária para o Vestibular
PUCCamp-SP	Pontifícia Universidade Católica de Campinas
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UEPA	Universidade do Estado do Pará
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFAC	Universidade Federal do Acre
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC-CE	Universidade Federal do Ceará
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFF-RJ	Universidade Federal Fluminense
UFJF-MG	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
Ufop-MG	Universidade Federal de Ouro Preto
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPeL-RS	Universidade Federal de Pelotas
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSCar-SP	Universidade Federal de São Carlos
UFTM-MG	Universidade Federal do Triângulo Mineiro
UFU-MG	Universidade Federal de Uberlândia
Unicamp-SP	Universidade Estadual de Campinas
Unifal-MG	Universidade Federal de Alfenas
Unifesp-SP	Universidade Federal de São Paulo
Unirio-RJ	Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Vunesp-SP	Fundação para o Vestibular da Universidade Estadual Paulista

Referências bibliográficas

- ALTERS, S.; ALTERS, B. **Biology – Understanding Life**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
- AUDESIRK, T.; AUDESIRK, G.; BYERS, B. E. **Biology – Life on Earth**. Menlo Park: Benjamin Cummings, 2014.
- BELK, C.; BORDEN, V. **Biology – Science for Life**. San Francisco: Benjamin Cummings, 2013.
- BORGES-OSÓRIO, M. R.; ROBINSON, W. M. **Genética humana**. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. **Ciência ambiental: Terra, um planeta vivo**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. São Paulo: Atual, 2011.
- COX, B. C.; MOORE, P. D. **Biogeografia: uma abordagem ecológica e evolucionária**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- ENGER, E. D.; ROSS, F. C.; BAILEY, D. B. **Concepts in Biology**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2012.
- JOHNSON, G.; LOSOS, J. B. **The Living World**. New York: McGraw-Hill, 2010.
- JONES, M.; FORBERY, R.; TAYLOR, D. **Biology – Advanced Sciences Series**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- JONES, M.; JONES, G. **Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- KROGH, D. **Biology – A guide of the Natural World**. New York: Pearson, 2011.
- MADER, S.; WINDELSPECHT, M. **Biology**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2015.
- OTTO, P. G.; OTTO, P. A.; FROTA-PESSOA, O. **Genética humana e clínica**. São Paulo: Roca, 2013.
- PIMENTEL, M.; SANTOS-REBOUÇAS, C.; GALLO, C. **Genética essencial**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- POSTLETHWAIT, J. H.; HOPSON, J. L. **Modern Biology**. Austin: Holt, Rinehart and Winston, 2006.
- PRESSON, J.; JENNER, J. **Biology – Dimensions of Life**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2008.
- PRUITT, N. L.; UNDERWOOD, L. S. **BioInquiry – Making Connections in Biology**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
- RAVEN, P. H.; JOHNSON, G. B.; MASON, K. Q.; LOSOS, B.; SINGER, S. R. **Biology**. Boston: WCB/McGraw-Hill, 2014.
- REECE, J. B.; TAYLOR, M. R.; SIMON, E. J. **Campbell Biology – Concepts & Connections**. New York: Pearson, 2015.
- SADAVA, D.; ORIAN, G. H.; HELLER, C. H.; PURVES, W. K. **Life – The Science of Biology**. Sunderland: Sinauer Associates/W.H. Freeman and Company, 2014.
- SCARANO, F. R.; SANTOS, I. L.; MARTINS, A. C. I.; SILVA, J. M. C.; GUIMARÃES, A. L.; MITTERMEIR, R. A. (Orgs.). **Biomass brasileiros: retratos de um país plural**. Rio de Janeiro: Casa da Palavra/Conservação Internacional, 2012.
- SIMON, E. J.; REECE, J.; DICKEY, J. L. **Campbell Essential Biology**. Boston: Pearson, 2013.
- SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de Genética**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- SOLOMON, E. P.; BERG, L. R.; MARTIN, D. W. **Biology**. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011.
- STARR, C.; EVERS, C.; STARR, L. **Biology – The Unity and Diversity of Life**. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2016.
- STARR, C.; EVERS, C.; STARR, L. **Biology Today and Tomorrow**. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2016.
- TAMARIN, R. H. **Princípios de Genética**. Ribeirão Preto: Funpec, 2011.
- TOBIN, A. J.; DUSHECK, J. **Asking about Life**. New York: Saunders College /Harcourt Brace College Publishers, 2005.